NOTICE SUR LES TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. le Dr PAUL REGNARD

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE,

DIRECTEUR ADJOINT A L'ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES.



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

Libraire de l'Académie de Médecine

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN (EN FACE L'ÉCOLE DE MÉDECINE)



CONCOURS ET NOMINATIONS

1872. Externe des hôpitaux de Paris (1er).

1874. Interne des hôpitaux de Paris.

1878. Docteur en médecine.

ENSEIGNEMENT

1875. Préparateur à l'École des Hautes Études.

1876. Préparateur à la Faculté des sciences de Paris.

1878. Professeur de physiologie générale à l'Institut national agronomique.

1879. Directeur adjoint du Laboratoire de physiologie générale à la Sorbonne.

PRIX

1879. Lauréat de la Faculté de médecine de Paris (médaille d'argent).

1882. Lauréat de l'Institut (prix Lallemand).

1883. Lauréat de l'Institut (prix Montyon : Physiologie expérimentale).

1877. Mention très honorable (prix Montyon).

1888. Grand prix à l'Exposition internationale de Melbourne.

SOCIÉTÉS SAVANTES

1878. Membre de la Société de biologie.

1892. Vice-Président de la Société de biologie.

1879. Membre de la Société zoologique de France.

1880. Membre de la Société française de physique.

1894. Membre de la Société chimique de Paris.

COMMISSIONS SCIENTIFIQUES

1881. Membre de la Commission de publication au Comité des travaux historiques et scientifiques (Ministère de l'Instruction publique).

1879. Membre adjoint à la Commission du Grisou (loi du 26 mars 1877), (Ministère des Travaux publics).

1883. Membre de la Commission de rendement (Ministère de l'Agriculture).

1882. Membre de la Commission de l'enseignement scientifique dans les écoles normales (Ministère de l'Instruction publique).

1884. Membre de la Commission pour l'étude des sauvetages dans les milieux irrespirables (Préfecture de police).

1887. Membre du Comité scientifique des remontes (Ministère de la Guerre).

1888. Membre du Comité d'organisation de l'Exposition universelle de Paris (Ministère de l'Instruction publique).

1889. Membre du jury international des récompenses à l'Exposition universelle (classe 6. Enseignement).

1890. Membre du Jury d'admission à l'Exposition de Moscou.

1892. Membre du Jury d'admission à l'Exposition universelle de Chicago.

1888. Directeur adjoint des *Archives de physiologie.*

1880. Mission scientifique en Russie, Finlande, États Scandinaves (arrêté du Ministre de l'Agriculture du 5 août 1880).

NOMINATIONS EN DEHORS DE L'ENSEIGNEMENT

1879. Médecin aide-major de 2e classe dans l'armée de réserve.

1882. Médecin aide-major de 1re classe dans l'armée territoriale.

1893. Médecin-major dans l'armée territoriale.

DISTINCTIONS HONORIFIQUES

1882. Officier d'Académie.

1884. Chevalier de la Légion d'Honneur.

1887. Officier de l'Instruction publique.

1889. Chevalier du Mérite agricole.

1891. Commandeur de l'Ordre impérial d'Annam.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

1. — Méthode pour l'analyse des produits de la respiration.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1876.)

Notre appareil est basé sur les mêmes principes que celui de MM. Regnault et Reiset. C'est, en réalité, l'appareil de ces savants, perfectionné à certains points de vue et mis à l'usage des physiologistes.

Le but que nous nous sommes proposé en modifiant l'appareil de MM. Regnault et Reiset a été de répondre à deux desiderata laissés par cet appareil.

La méthode de MM. Regnault et Reiset demande un déploiement considérable d'instruments, le maniement de cloches et de pipettes d'une grande capacité, qui ne se rencontrent pas dans le commerce et qui, fabriquées par des constructeurs habiles, reviennent à un prix qui les éloigne des laboratoires modestes.

Enfin, l'instrument complet tient une place considérable et ne peut être toujours tenu monté et prêt à fonctionner, quand le hasard d'une expérience rend nécessaire le dosage des produits de la respiration.

On verra plus loin, par le détail que nous allons donner de notre méthode, que toutes les pièces qui composent notre instrument se trouvent dans les laboratoires de physiologie, que l'appareil, simplement appliqué contre un mur, n'est point encombrant et qu'il peut être constamment prêt à fonctionner. Ces qualités nous semblent en faire un véritable appareil usuel de physiologie.

Le second point où, de l'aveu même de ses auteurs, la méthode de Regnault et Reiset s'est montrée en défaut, consiste dans la lenteur de l'absorption de l'acide carbonique, au point que ce gaz peut demeurer dans l'air dans des proportions considérables; on verra plus loin qu'une disposition spéciale nous permet d'éviter complètement cette cause d'erreur.

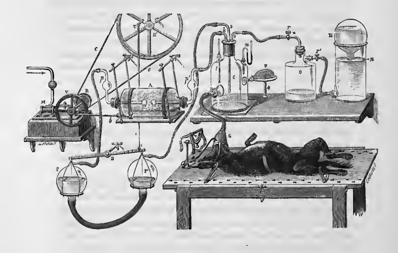
Notre appareil se compose de trois parties : une cloche dans laquelle respire l'animal, un appareil destiné à condenser l'acide carbonique au fur et à mesure de sa production, un système destiné à remplacer l'oxygène à mesure qu'il est consommé.

A. — La cloche dans laquelle était contenu l'animal avait, dans l'instrument de MM. Regnault et Reiset, une capacité de 45 litres. C'était une cause de grande lenteur dans le maniement de l'appareil, et encore cette capacité déjà considérable ne permettait-elle pas d'agir sur tous les animaux et forçait-elle à choisir des espèces d'assez petite taille. De plus, l'animal, une fois enfermé dans la cloche, échappait complètement à l'expérimentateur, qui ne pouvait plus agir sur lui, et dans ces conditions il était impossible d'étudier les phénomènes de la pathologie expérimentale.

Nous avons employé une cloche d'une capacité de 10 litres C qui se trouve partout et dont le maniement est des plus faciles. Cette cloche est rodée et lutée sur une plaque de verre. La cloche est assez grande pour contenir les animaux de petite taille, tels que rats, cobayes, lapins, que l'on peut y laisser des journées entières. Pour les grandes espèces, elle peut encore servir efficacement, grâce à la disposition suivante.

Un chien, par exemple, est couché sur une table à laquelle il est fixé par des attaches; les voies aériennes sont fermées par une muselière complètement hermétique. Cette muselière est, en effet, munie d'un bourrelet creux en caoutchouc qu'il est facile de gonfler par un tube latéral et qui, s'appliquant autour du museau de l'animal, rend impossible toute fuite de l'appareil. A la muselière aboutit un gros tube rigide muni d'un robinet à trois voies et communiquant avec une des tubulures de la cloche. Grâce au robinet, l'animal peut être mis subitement en rapport avec l'atmosphère de la cloche, et il se trouve exactement dans les mêmes conditions que s'il était contenu dans sa cavité. Par ses alternatives d'inspiration et d'expiration, l'animal produirait des alternatives de pression et de dépression dans la cloche, sans une disposition spéciale que nous avons imaginée. A l'une des

tubulures se trouve fixé un petit sac de caoutchouc v qui peut s'aplatir exactement. L'inspiration et l'expiration de l'animal ont simplement pour action de soulever ou de laisser retomber la mince paroi de ce sac. Il n'y a donc jamais ni augmentation ni diminution de pression dans l'appareil. Ajoutons qu'un thermomètre t et un manomètre m très sensibles sont en communication avec la cloche et permettent de faire très exactement les déterminations gazométriques.



Voilà donc notre animal, soit inclus dans la cloche à respiration, soit en communication avec elle, et n'y produisant d'autres modifications de pression que celles résultant de la consommation de l'oxygène et de l'absorption de l'acide carbonique.

B. — Comment cet acide carbonique est-il absorbé? Du sommet de la cloche C partent trois tubes, dont deux, k et i, nous occuperont tout d'abord. Ces tubes, prolongés par des conduits de caoutchouc, aboutissent tous deux à un système PP′ de pipettes. L'un d'eux traverse d'abord l'agita-

teur A. Les deux pipettes, pleines de potasse, sont suspendues à un balancier B que fait mouvoir une tige T suspendue à la bielle d'une grande roue de tour R. La roue R est mue par une courroie C qu'anime le moteur hydraulique de Bourdon M. Supposons le moteur en mouvement, la tige T est soulevée en haut, puis poussée en bas; elle entraîne le balancier B dans ces alternatives, et les pipettes s'élèvent et s'abaissent successivement. La solution de potasse, elle, passe successivement de P en P', de sorte que l'air de la cloche C est successivement appelé dans chacune d'elles pour s'y dépouiller de son acide carbonique. C'est le condenseur de Regnault et Reiset un peu simplifié. Mais ici nous avons intercalé une disposition qui rend absolument complète l'absorption de l'acide carbonique.

Sur le trajet du tube *k* nous avons mis un vase A placé sur un plateau oscillant *b* et à moitié plein d'une solution de potasse. L'air de la cloche, pour se rendre à la pipette P, est obligé de traverser ce flacon. Or, par l'intermédiaire d'une bielle, le moteur l'agite violemment, de sorte que l'air est sans cesse brassé dans une véritable pulvérisation de potasse. Tout son acide carbonique est absorbé instantanément. Les boules *p* et *p'* sont destinées à empêcher le reflux de la potasse dans les condenseurs. L'absorption de l'acide carbonique amènerait dans l'appareil une diminution de pression si cet acide carbonique n'était immédiatement remplacé par de l'oxygène, qui rend à l'atmosphère de C sa composition normale.

En *o* se trouve un tube communiquant avec un grand récipient O, rempli d'oxygène pur. Par sa tubulure *r'*, ce récipient est lui-même en communication avec un appareil à niveau constant H, rempli d'une solution concentrée de chlorure de calcium. Dès qu'une quantité donnée d'acide carbonique est absorbée, une quantité exactement égale d'oxygène passe de O en C, et une quantité égale de chlorure de calcium vient remplacer cet oxygène. Et, comme le niveau *r'* reste toujours le même, grâce au ballon renversé H, il n'y a jamais tendance à ce que l'oxygène passe irrégulièrement dans la cloche C.

Ainsi se trouvent maintenues pendant toute la durée de l'expérience la tension et la composition gazeuse de l'appareil.

Examinons maintenant la marche d'une expérience.

On commence par mettre dans les pipettes et dans l'agitateur une quantité connue d'une solution de potasse titrée; puis, dans le flacon O, une

quantité connue d'oxygène pur, dont on prend la température et la pression. On connaît, d'autre part, le jaugeage de tout l'instrument; en en retranchant le volume de la potasse introduite, on sait donc la quantité d'air et, par conséquent, d'oxygène qu'il renferme. On fixe le chien sur la table d'opération, on le met en rapport avec la cloche, puis, le moteur étant en mouvement, on note l'heure en même temps qu'on tourne le robinet à trois voies. L'expérience commence alors. Dès que l'oxygène est consommé, on note de nouveau l'heure, la température et la pression.

On soumet l'air à une analyse eudiométrique, on dose l'acide carbonique contenu dans la potasse, et on connaît ainsi très exactement les quantités d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique que contenait l'appareil au début et à la fin de l'expérience, et, par suite, on possède tous les éléments nécessaires pour déterminer exactement :

1° La quantité d'oxygène consommée par l'animal;

2° La quantité d'acide carbonique exhalée.

2. — Nouvelle méthode pour le dosage volumétrique de l'acide carbonique.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Il est utile de doser exactement l'acide carbonique fixé sur la potasse dans les appareils qui ont servi à l'étude de la respiration des êtres animés. Nous avons pour cela imaginé la méthode suivante, qui est d'une grande exactitude.

Notre procédé consiste à extraire l'acide carbonique fixé sur la potasse, au moyen de la pompe pneumatique à mercure. Le récipient vide de la pompe pneumatique à mercure étant donc préparé comme pour l'extraction des gaz de l'eau, on y introduit la solution de potasse à analyser, en ayant soin de bien laver le barboteur à l'eau distillée, et de faire pénétrer également les eaux de lavage. Ceci fait, on donne quelques coups de pompe, et l'on débarrasse le liquide potassique de l'air dissous. Alors par le robinet R on introduit dans le récipient un excès d'acide chlorhydrique ou sulfurique; un abondant dégagement de gaz se produit dans le ballon. Il n'y a plus qu'à l'extraire et à le mesurer.

Mais ici deux procédés interviennent, suivant que l'expérience a duré quelques heures seulement ou plusieurs jours.

Dans le premier cas, la quantité d'acide carbonique est relativement faible et peut être recueillie dans des tubes gradués, sur la cuvette à mercure de la pompe. Pour n'avoir pas à remplir ainsi un trop grand nombre de tubes, et, par suite, à faire autant de lectures dont chacune est forcément entachée d'une légère erreur, nous nous servons de tubes de forme spéciale.

Ces tubes, qui contiennent 60, 120 et 150 centimètres cubes, offrent dans la continuité une boule comprise dans la graduation, et calculée de façon à permettre de lire en haut du tube le gaz restant après absorption du gaz acide par la potasse. On extrait l'acide carbonique dégagé, et on en remplit un ou plusieurs tubes à boule; on achève l'extraction dans un tube gradué ordinaire. Le gaz est mesuré et l'acide carbonique absorbé par la potasse; s'il reste un peu d'air, le volume restant est lu et défalqué.

Dans le second cas, c'est-à-dire lorsque l'expérience a duré longtemps, et que par conséquent la quantité de gaz acide produit et fixé par la potasse a été relativement considérable, nous employons l'appareil suivant, que représente en entier la figure ci-contre.

Un grand ballon B, d'une capacité exactement connue, est muni d'une armature qui porte deux tubulures à robinet. Par l'une des deux tubulures il est en rapport avec une des branches du manomètre à mercure M; par l'autre, avec un tube de caoutchouc à vide C. Le ballon, dans l'intérieur duquel se trouve un thermomètre, plonge complètement dans une conserve remplie d'eau. On fait un vide partiel dans le ballon, et on note la température et la pression du gaz restant. La solution de potasse à analyser est introduite dans le récipient A, et les gaz dissous sont chassés. Alors, on adapte l'extrémité du tube C à l'ajutage supérieur de la pompe à mercure,



et la clef du robinet à trois voies est tournée de façon à établir toutes les communications. L'acide sulfurique est introduit dans le ballon A, le gaz acide carbonique se dégage, la pression remonte dans l'appareil. Quand l'équilibre est établi, la clef du robinet est ramenée dans sa position normale. Par une série de manœuvres de la pompe, le gaz dégagé dans le récipient A est chassé dans le ballon B, jusqu'aux dernières traces que l'on recueille dans un tube gradué. On note de nouveau la température et la pression dans le ballon; on possède alors tous les éléments pour déterminer la quantité de gaz acide contenu dans la solution de potasse et chassé dans le ballon. Soit X le volume de CO^2 cherché, V celui du ballon, t et h la température et la pression de l'air dans le ballon au début, t' et h' celles après, et H la pression barométrique, on aura :

$$X = \frac{V(H - h')}{H(1 + \alpha t')} - \frac{V(H - h)}{H(1 + \alpha t)}.$$

Dans toutes nos expériences, nous nous sommes servis de potasse pure. Mais, malgré cette précaution, nos solutions de potasse contenaient toujours une certaine quantité de carbonate alcalin. C'est pourquoi chaque analyse de solution potassique après l'expérience doit être précédée d'une analyse d'un échantillon de la solution avant l'expérience, afin de déterminer la quantité d'acide carbonique contenue dans la solution normale de potasse et qui doit être défalquée.

3. — Recherches expérimentales sur les variations pathologiques des combustions respiratoires.

(Un volume grand in-8° avec 100 figures. Delahaye, Paris, 1879.)

Dans la rédaction de cet ouvrage, nous sommes parti de ce point de vue que l'histoire de la respiration domine, en physiologie, celle de toutes les autres fonctions, dont elle est en réalité le but. N'est-ce pas surtout pour obtenir de la chaleur et du mouvement que nous digérons? n'est-ce pas en partie pour que nos aliments soient brûlés dans tous les points de notre organisme que notre sang circule?

A. — Au point de vue de la physiologie générale, l'être vivant est composé d'une infinité d'organites vivant d'une manière indépendante.

Chaque élément anatomique est un être à part.

Cet être absorbe l'oxygène et se brûle à son contact; *il respire*. C'est là la respiration élémentaire, la respiration des tissus. C'est elle surtout que modifie l'état anormal (ou plutôt l'état normal exagéré ou diminué) qui constitue la maladie.

Nous devions donc, avant toutes choses, étudier l'influence qu'ont sur les oxydations intimes les grandes conditions pathologiques que nous pouvons reproduire expérimentalement. C'est l'objet de notre première partie.

B. — Mais cet être isolé, cet organite enfoui au milieu de notre corps ne reçoit pas directement l'oxygène. Bert a même démontré que, pour la cellule, l'oxygène libre est une cause de mort. Comme l'a dit Bernard, ce serait une erreur de penser que nous vivons dans le monde extérieur. En réalité, nous n'avons pas de contact direct avec lui, nous n'y vivons pas. La vérité est que nous vivons dans notre milieu intérieur, dans notre sang.

C'est le sang qui se charge d'oxygène et qui vient l'apporter à nos tissus. Que la maladie apporte une modification à ce sang, il en résultera deux choses :

1° Il contiendra moins ou plus d'oxygène, et en apportera moins ou davantage aux tissus. Voilà donc que notre étude s'agrandit et qu'il nous faut étudier les modifications pathologiques des gaz du sang.

2° Si la modification est plus complète, il pourra survenir que le milieu intérieur soit annihilé, que le sang ne puisse plus absorber l'oxygène et que les tissus en soient à peu près privés d'une manière permanente. Il nous faut donc étudier l'influence qu'ont les actes morbides sur la *capacité respiratoire du sang*.

Voilà pour le milieu intérieur, mais notre étude serait stérile si nous ne possédions encore un élément du problème.

3° Cet oxygène que le sang va porter aux tissus, il s'en empare dans un appareil spécial, l'appareil respiratoire. Si une cause morbide quelconque vient entraver ou exagérer le jeu des organes respiratoires, si l'air entre en plus petite quantité dans la cage thoracique ou s'il y circule plus vite, il arrivera finalement plus ou moins d'oxygène au sang et aux tissus, d'où une variation dans les combustions. Après avoir étudié le *milieu intérieur*, le sang, il nous faut rechercher l'influence qu'a la maladie sur l'apport du *milieu extérieur*, de l'oxygène atmosphérique.

C. — Les deux premières parties de notre travail nous ont ainsi amené à connaître les causes et les modes des variations pathologiques dans les combustions organiques. Il nous reste encore à mesurer ces variations elles-mêmes. Or, une pareille évaluation peut se faire directement par la mesure de la quantité de chaleur produite, par la *calorimétrie*; elle peut encore être obtenue d'une manière indirecte en tenant compte des produits comburés, en dosant l'*urée* et l'*acide carbonique*.

Après avoir parcouru ces diverses phases de notre étude, nous possédons tous les éléments que peut fournir l'expérience sur le sujet qui nous occupe.

Nous savons ce qui se passe dans l'intimité des tissus au moment où les oxydations s'exagèrent. Nous savons en quoi les divers processus pathologiques peuvent influer sur les milieux où se passent les combustions; nous savons enfin ce que sont leurs produits en qualité et en quantité.

Chacun de nos chapitres est précédé d'une description détaillée de la méthode que nous avons employée, soit qu'elle ait déjà été utilisée par nos prédécesseurs, soit que nous ayons dû l'improviser nous-même. Nous attribuons la plus grande importance à cette description : un résultat expérimental tire toute son importance de la méthode par laquelle il a été obtenu : ne pas la citer, c'est mettre son lecteur dans l'impossibilité de juger l'exactitude de ce qu'on avance et de mesurer la précision qu'on a mise dans ses recherches.

Nous sommes persuadé que bien des résultats seraient absolument rejetés si on connaissait les procédés par lesquels ils ont été acquis. Si la technique était toujours signalée, on ne serait pas exposé à mettre sur le même pied et à opposer l'un à l'autre des travaux dont les uns ont été faits avec des soins minutieux et d'autres publiés hâtivement et sans précautions expérimentales. — Pour l'homme qui ne s'occupe que des conclusions sans s'arrêter à la critique expérimentale tous les résultats sont égaux, fussent-ils dissemblables, et il ne reste, pour se faire une opinion, que la pitoyable méthode des moyennes, dont on a fait depuis longtemps justice. On nous pardonnera donc d'avoir insisté longuement sur nos procédés de laboratoire. Si notre travail a quelque valeur, on reconnaîtra qu'il a été exécuté par des méthodes qui sont une garantie de sincérité et d'exactitude.

Nous ne nous sommes pas contenté d'ailleurs de décrire nos appareils

personnels; dans bien des cas, nous avons cru devoir entrer dans quelques détails sur des instruments nouveaux, peu connus des médecins : n'était-ce point le seul moyen de les mettre à même de nous juger?

Enfin, toutes les fois que nous l'avons cru nécessaire, nous avons fait précéder notre étude pathologique d'un court exposé des faits physiologiques qui s'y rattachaient. Non pas que nous ayons essayé d'être complet sur ce point; mais dans beaucoup de cas il était nécessaire d'établir le terrain sur lequel nous nous avancions et de bien fixer l'état normal pour en déduire la modification introduite par la maladie.

En résumé, notre étude comprend les quatre grandes divisions suivantes :

A. — Variations pathologiques de la *respiration élémentaire*.

B. — Variations pathologiques du *milieu intérieur*.

C. — Variations de la capacité respiratoire du sang.

D. — Variations pathologiques du milieu extérieur.

E. — Variations pathologiques des produits de combustion.

A. — Variations pathologiques de la respiration élémentaire.

Nous commençons par rappeler les travaux de Spallanzani et de Paul Bert; nous reproduisons la discussion qui s'est établie avec Hermann.

Puis nous abordons l'étude des conditions pathologiques, partie absolument encore inexplorée.

1° Comment respirent les tissus en présence d'une quantité trop forte ou trop faible d'oxygène?

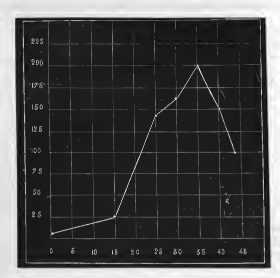
2° Comment respirent-ils en présence des températures incompatibles avec l'état physiologique?

La solution de la première question nous amène à comprendre les modifications qu'apportent dans les combustions intimes certaines altérations du sang qui ne peut plus dissoudre d'oxygène et en fournir aux tissus. Elle nous permettra encore d'avoir une notion de ce qui se passe quand des conditions spéciales viennent gêner la ventilation pulmonaire et entraver l'oxygénation du sang, ce qui a encore pour résultat une véritable asphyxie des éléments.

Quant à l'étude de la seconde question, celle qui se rapporte à la tem-

pérature, elle nous permet d'envisager d'emblée ce qui se passe pendant la fièvre dans la respiration intime des tissus, alors que l'excès de chaleur leur a imprimé des dégénérescences et des modifications qui diminuent leur activité respiratoire.

Pour l'étude de la première question, nous plaçons du tissu musculaire



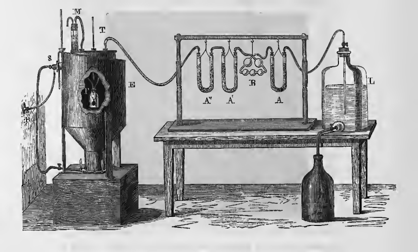
dans des atmosphères de plus en plus pauvres en oxygène. Nous dosons, après un temps donné, l'oxygène disparu, et nous trouvons qu'il est proportionnel à la quantité préexistante dans l'atmosphère. La courbe de la richesse de l'air en oxygène et celle de la consommation du tissu peuvent exactement s'emboîter l'une dans l'autre.

Pour juger la deuxième question, nous prenons du sang saturé d'oxygène et nous le laissons dans l'appareil successivement pendant un même temps à des températures que nous fixons. Nous analysons ensuite ce sang

et l'oxygène perdu nous donne la consommation. En réunissant nos résultats en graphique nous obtenons la courbe ci-jointe.

Elle nous montre que c'est vers 35° qu'est l'optimum de la combustion. A partir de là, il y a plutôt une diminution dans l'oxygène absorbé.

Ce que nous avions fait pour le sang, nous avons voulu le faire pour tous les tissus.



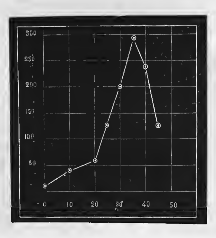
Nous placions alors le tissu en expérience dans l'appareil ici figuré.

Dans un flacon F à deux tubulures fermées par un bouchon de caoutchouc, se trouve suspendu un fragment de viande. Le flacon est lui-même renfermé dans une enceinte à température constante de d'Arsonval. L'une des tubulures est en rapport par un tube en caoutchouc épais avec une soupape de Müller, M, qui sépare l'atmosphère du flacon de l'air ambiant et qui sert en même temps d'entrée à l'air qui viendra circuler autour du tissu en expérience.

L'autre tubulure communique avec une série d'appareils d'absorption ainsi construits. Un premier tube en U, A", est rempli de ponce imbibée d'acide sulfurique et sert à dessécher complètement l'air qui sera analysé.

Un tube de Liebig B est rempli d'une solution très concentrée de potasse caustique.

Le tube A est plein de ponce sulfurique et sert à arrêter la vapeur d'eau qui pourrait s'échapper du tube B et en diminuer le poids.



Les choses étant ainsi disposées, on procède de la manière suivante à une expérience.

On pèse très exactement un fragment de viande pris immédiatement après la mort de l'animal et on le suspend en F. Puis on pèse au trébuchet d'analyse les tubes B et A. On met tout en place, on note la température de l'étuve et on ouvre lentement l'aspirateur L. Pendant dix à douze heures, l'air vient circuler autour du morceau de tissu en expérience, puis il va barboter dans le tube B, où il abandonne son acide carbonique. Après l'expérience, on pèse de nouveau les tubes B, A, et, de leur augmentation de

poids, on déduit la production d'acide carbonique. Un calcul de proportions des plus simples permet de convertir les milligrammes en centimètres cubes. On ramène au kilogramme et à l'heure et on a des résultats comparables.

En réunissant en courbe les résultats que nous ont donnés les expériences, nous obtenons la figure ci-dessus, qui nous prouve que l'optimum de la respiration des tissus est, lui aussi, fixé vers 35°.

Chose curieuse, chez les animaux à sang froid, l'optimum semble placé vers 33°; une température plus élevée est d'ailleurs incompatible avec l'intégrité des fonctions de leur système nerveux (Bert).

Cette étude se termine par celle de la respiration des tissus pathologiques (cancer, sarcomes, etc.). La respiration de ces tissus est comparable à celle du muscle, elle est donc très active.

Nos conclusions sont les suivantes :

1° Toutes les fois que, par suite d'un état pathologique quelconque, il y aura apport moindre d'oxygène aux tissus, les combustions intimes seront diminuées et il y aura une production de chaleur moindre.

2° Toutes les fois que la température à laquelle les éléments seront exposés sera diminuée, les échanges, les combustions diminueront encore. D'où une sorte de cercle vicieux, amenant une diminution toujours progressive des échanges et finalement les états où la nutrition des tissus change non seulement d'intensité, mais encore de nature (cachexies).

3° Toutes les fois que les éléments seront subitement exposés à une température très élevée (au-dessus de 42°), ils s'altéreront, les échanges seront diminués ou supprimés, et la mort de l'élément, sinon celle de l'individu, en sera la conséquence.

B. — Variations pathologiques du milieu intérieur.

Nous avons dit que la maladie pouvait non seulement atteindre l'élément anatomique lui-même et en modifier la respiration, mais qu'elle pouvait encore agir sur le milieu intérieur auquel les organites empruntent l'oxygène, sur le *sang*.

Or, les modifications imprimées au sang peuvent être de deux sortes : ou bien la composition chimique de ce liquide demeure normale et les

causes morbides occasionnelles ne viennent faire varier les gaz qu'il contient que momentanément, ou bien une action plus profonde le prive de son pouvoir absorbant, et le milieu intérieur se trouve plus ou moins frappé d'une manière définitive.

Nous avons donc eu à étudier :

1° Les variations introduites par la maladie dans l'*oxygène contenu dans le sang* resté normal;

2° Les variations créées par les processus morbides dans le *pouvoir absorbant* de ce liquide.

Suivant le principe que nous avons adopté, nous avons fait précéder cette étude de l'historique et de l'exposé des méthodes techniques.

Nous en arrivons rapidement aux variations dues à l'état pathologique.

L'*anémie* aiguë et chronique fait l'objet de notre première étude. Qu'elle agisse par diminution des globules rouges ou par diminution de la pression sanguine, elle a toujours pour résultat une diminution dans les gaz dissous dans le sang, diminution qui porte sur l'oxygène.

La *fièvre* nous occupe ensuite. Elle augmente certainement les combustions, mais comme elle augmente aussi la ventilation pulmonaire, l'étude des gaz du sang devient particulièrement difficile.

L'*urémie*, l'*ammoniémie* expérimentales nous donnent aussi des résultats intéressants.

Enfin nous terminons par l'étude de la *septicémie*.

Mais notre travail n'était pas achevé. Il nous restait à faire l'étude la plus importante de l'hématologie, la recherche du pouvoir absorbant du sang, ou, comme on dit par abréviation, l'étude de sa capacité respiratoire. — C'est elle, en effet, qui domine toute la situation. — Tout ce que nous avons dit s'applique à l'état transitoire de l'oxygène dans le sang suivant les conditions mécaniques qui règlent sa dissolution ou suivant les processus chimiques qui président à son utilisation.

Mais à côté de cela le milieu intérieur subit des atteintes pathologiques qui le modifient à tout jamais. L'état du milieu intérieur dépend donc absolument de la capacité respiratoire du globule.

C. — Variations de la capacité respiratoire du sang.

Nous commençons encore par l'étude des méthodes directes et indirectes de dosage de l'hémoglobine, nous donnons à celles-ci la préférence, puis nous exposons la méthode qui sert à fixer par l'absorption de l'oxygène la capacité respiratoire du sang. A cette étude succède celle des variations pathologiques.

L'expérimentation chez les animaux est ici facile. Elle nous permet d'étudier l'influence de la cachexie, de l'anémie, de la septicémie.

Passant aux études faites à l'hôpital, nous examinons l'action de la variole, de la rougeole, de la tuberculose, du cancer, de la chlorose, et surtout de la diphtérie, où nous trouvons une diminution énorme du pouvoir absorbant du sang. Nous terminons par l'étude du diabète et de l'albuminurie.

En résumé, le milieu intérieur chargé d'apporter aux éléments l'oxygène nécessaire aux combustions intimes peut être affecté de plusieurs façons :

1° Il peut conserver toute sa puissance chimique, mais contenir temporairement moins d'oxygène, par suite d'une perte, d'un apport moindre de ce gaz aux poumons dépendant des variations de la circulation ou de la mécanique respiratoire, et d'autre part d'une consommation exagérée dans les tissus (variations pathologiques des gaz du sang).

2° Il peut contenir une moindre quantité d'oxygène par suite d'une lésion directe du sang ayant annihilé l'hémoglobine ou l'ayant rendue incapable d'absorber l'oxygène.

Le résultat final est le même; il arrive des quantités variables d'oxygène aux tissus et les combustions organiques sont modifiées.

D. — Variations pathologiques du milieu extérieur.

Jusqu'à présent nous n'avons considéré que deux choses dans les modifications des combustions élémentaires :

1° Nous avons vu les variations que des conditions déterminées leur faisaient subir, prises en elles-mêmes.

2° Nous avons examiné les modifications qui pouvaient se produire

dans la composition du milieu dans lequel les éléments respirent, dans le sang.

Mais ce milieu, nous le savons, n'est qu'un intermédiaire, il a pour effet de puiser l'oxygène dans l'air extérieur : si les conditions dans lesquelles cet air extérieur lui est amené varient, la quantité d'oxygène entraîné vers les tissus variera aussi et les combustions se modifieront dans le même sens.

C'est donc maintenant vers les variations du milieu extérieur que doivent tendre nos recherches.

Notre étude du milieu extérieur se trouve donc naturellemont scindée en deux parties : méthode directe ou spirométrie, méthode indirecte ou pneumographie.

Après avoir donné les descriptions de tous les spiromètres connus, nous critiquons la méthode elle-même, qui ne donne que des résultats multipliables par un fort coefficient, puisque d'une seule inspiration on calcule le produit d'une journée entière de respiration.

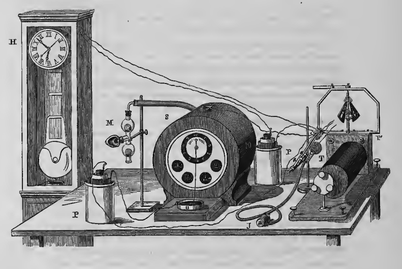
Nous proposons, à l'encontre, une méthode graphique qui donne le produit d'emblée et sans multiplication.

La figure ci-contre représente notre appareil tel que nous l'avions monté dans le laboratoire du professeur Charcot, à la Salpêtrière.

En M on voit un masque de caoutchouc qui pénétrait dans l'intérieur même de la bouche. A la suite du masque M se trouve un tube à boules de Jolyet, grâce auquel l'inspiration se fait à l'air libre et l'expiration seule se fait dans le spiromètre. Le malade peut donc, pendant longtemps, respirer dans l'appareil sans avoir, comme dans les autres spiromètres, à enlever la muselière à chaque expiration. A la suite de l'appareil à boules se trouve un tube de caoutchouc qui aboutit à un compteur à gaz gradué en *centilitres, décilitres, litres* et *centaines de litres.* Cet appareil doit être d'une précision absolue. La Compagnie du gaz en possède qui sont admirables sous ce rapport et qui permettent de faire des calculs d'une grande rigueur. L'air est chassé dans le compteur, puis il s'échappe au dehors. Voici maintenant comment cet appareil enregistre l'air expiré. En T se trouve un cylindre de Marey sur lequel écrivent deux signaux de Deprez et un tambour à air. Le tambour à air est en rapport avec un pneumographe J, qui inscrit les *mouvements de la poitrine* du sujet.

L'un des signaux Deprez est en rapport avec une pile et une horloge électrique H; il pointe les *secondes* sur le cylindre.

L'autre signal communique avec une pile P d'une part, et d'une autre part avec le bâti du spiromètre. Le courant est donc interrompu. Mais le pôle zinc de la pile est plongé dans un godet de mercure que vient effleurer



l'aiguille du spiromètre, chaque fois qu'un litre d'air a traversé l'instrument. A ce moment, le courant se trouve établi et le signal marque un trait sur le cylindre.

Le graphique contient donc finalement : 1° le nombre des inspirations; 2° le nombre de litres expirés; et 3° le temps écoulé entre chaque inspiration et chaque litre d'air expulsé; tous éléments d'un problème de spirométrie.

Notre appareil nous permet d'apprécier la *circulation aérienne du*

poumon. Nous en faisons l'étude physiologique et nous étudions l'influence de la taille, des mouvements, de la grossesse.

Puis nous passons à la pathologie et nous voyons comment la ventilation est modifiée par les déviations du rachis, par l'anémie, la cachexie, la phtisie, les fièvres diverses, les pneumonies, les pleurésies et enfin par l'agonie. Nos conclusions sont les suivantes :

En résumé, la spirométrie proprement dite peut renseigner sur l'état anatomique du poumon : elle ne peut donner sur ses fonctions et sur l'état des combustions que des notions éloignées.

L'étude de la circulation aérienne, c'est-à-dire de la quantité d'air qui traverse le poumon dans un temps connu, a seule quelque importance physiologique. Elle nous montre que le degré d'oxygénation du sang étant modifié chimiquement, soit par cause directe, soit par cause indirecte, il y a, par la ventilation du poumon, une tendance à rétablir l'équilibre primitif. Nous avions déjà insisté sur ce point en parlant des gaz du sang. — Elle nous montre encore que, dans les processus mécaniques, la même tendance à la compensation se reproduit et que la sensation particulière à la dyspnée apparaît dans tous les cas où l'équilibre ne peut être rétabli et quand la compensation n'a pas lieu.

Un autre procédé physique nous a servi encore à apprécier non plus la quantité exacte d'air qui pénètre dans la poitrine, mais la nature, la forme et la puissance des obstacles qui peuvent s'opposer à cette pénétration. — Ce procédé, c'est la *pneumographie*.

Nous en faisons tout d'abord une étude historique et instrumentale, nous passons en revue tous les pneumographes connus, puis nous étudions leur usage dans les conditions purement physiologiques, tressaillement, cri, toux, hoquet.

Selon notre usage, nous passons ensuite à la pathologie. Plusieurs tracés montrent que dans les fractures de côtes le thorax est annihilé et que le diaphragme fait toute la besogne. C'est un phénomène de douleur, car un cancer du sein produit le même effet.

Chez les rachitiques, le thorax est presque annihilé quant à son action : le diaphragme agit presque seul; de plus, les mouvements sont augmentés par compensation. Le mal de Pott produit un effet comparable.

L'emphysème pulmonaire, en fixant le poumon, fait que la cage thoracique est presque immobilisée.

La pneumographie nous a permis de recueillir des tracés unilatéraux chez des individus atteints d'épanchements pleuraux ; ils montrent que le côté atteint respire beaucoup moins que l'autre. La cage thoracique ne se soulève que d'un côté.

C'est encore plus marqué dans le pneumo-thorax.

Les maladies de l'abdomen influent certainement sur les mouvements respiratoires. La grossesse ne commence à avoir une action que tout à fait dans le dernier mois, contrairement à ce qu'on affirme théoriquement presque partout.

L'ascite, le kyste de l'ovaire sont absolument comparables à la grossesse.

La péritonite aiguë, par la douleur qu'elle entraîne, arrête complètement les mouvements du diaphragme ; le thorax respire seul et assez faiblement.

Dans l'agonie, le diaphragme est complètement paralysé et se trouve pour ainsi dire *avalé* à chaque inspiration. Le tracé que nous avons recueilli ne laisse aucun doute sur ce point.

La chorée du diaphragme donne aussi un rythme des plus singuliers.

Nous étudions successivement le tracé pneumographie de l'épilepsie, de l'hystérie, de la rage, et nous terminons ce chapitre par des recherches pneumographiques très détaillées sur la respiration de Cheyne-Stokes.

Nous croyons pouvoir conclure de ces recherches que le phénomène de Cheyne-Stokes est une apnée due à un excès d'altérialisation du sang dans une dyspnée qui dépasse son but. Quant à cette dyspnée elle-même, elle peut avoir des causes nerveuses et chimiques sur lesquelles l'expérimentation ne nous semble pas avoir donné jusqu'à présent les renseignements suffisants pour qu'on puisse bâtir une théorie inattaquable.

E. — Variations pathologiques des produits de combustion.

1° Les matières quaternaires, en s'oxydant, donnent lieu à la production et à l'élimination de l'*urée*, produit brûlé complètement et ne pouvant plus donner lieu à aucune oxydation. A côté de l'urée, il s'élimine encore d'autres substances incomplètement oxygénées, acide urique, créatine, leucine,

tyrosine. Ces substances se rencontrent surtout dans l'état pathologique; l'examen de leurs variations rentre donc dans notre travail.

2° Les matières ternaires, en se brûlant, donnent lieu à la reproduction de l'*acide carbonique*.

Enfin aucune combustion ne peut avoir lieu sans une absorption, sans une *consommation d'oxygène*.

Notre étude comprend donc :

1° L'examen des variations de l'urée;

2° La recherche des variations de l'acide carbonique;

3° L'étude de la consommation de l'oxygène et de ses *rapports* avec l'excrétion de l'acide carbonique.

Nous commençons par une étude détaillée des procédés de dosage de l'urée; nous en faisons connaître un qui nous est personnel et qu'on retrouvera dans la suite de cette notice. Puis nous faisons connaître les causes de variations de l'excrétion de l'urée dans les conditions physiologiques. Nous abordons enfin toutes les conditions de pathologie générale dont nous avons parlé déjà; nous insistons sur la manière dont la fonction uropoiétique du foie peut être éclairée par le dosage de l'urée dans les maladies de cet organe.

L'étude récente de l'oligurie des hystériques fait l'objet d'un chapitre à part.

Résumant donc ce long chapitre sur la production de l'urée dans les processus pathologiques, nous disons :

1° L'urée, étant le résultat ultime des combustions, marche en général conjointement avec elles et varie dans le même sens.

2° L'urée semble être formée dans le foie par suroxydation ou plus probablement par dédoublement des substances extractives. La loi exprimée ci-dessus n'est donc plus vraie quand le foie est lésé dans ses éléments. Les combustions s'arrêtent à des produits moins oxydés, à ceux qui se forment dans tous les tissus par la combustion directe (créatine, créatinine, hypoxanthine, acide urique).

3° L'urée peut s'accumuler dans l'organisme pendant les périodes où elle est produite en excès et être éliminée tout d'un coup sans qu'il y ait pour cela élévation des combustions (crises).

4° Dans quelques cas peu fréquents et encore inexpliqués, la sécrétion de l'urée peut s'arrêter définitivement (ischuries).

Après l'urée vient l'acide carbonique. Nous étudions la manière dont on peut le doser en clinique. Nous résumons les travaux de Pettenkoffer, d'Andral et Gavarret, de Regnault et Reiset, de nous-même avec Jolyet.

Puis nous proposons une méthode applicable à l'hôpital. Nous recueillons l'air expiré dans un grand sac pendant une heure. Cet air passe tout entier dans un appareil de Liebig qui l'analyse sans qu'on ait à faire de multiplications. On a donc une très grande précision.

Vient ensuite l'étude physiologique et pathologique des variations de l'acide carbonique et du rapport $\frac{CO^2}{O}$. Ces variations, étant représentées par de longs tableaux de chiffres, ne sont pas susceptibles d'être analysées ici. Nous ne ferons connaître que nos conclusions :

1° Dans les fièvres franches et dans les inflammations aiguës, la consommation d'oxygène est considérablement augmentée. L'exhalation de l'acide carbonique l'est également, mais dans des proportions moindres, de telle sorte que l'oxygène contenu dans l'acide carbonique ne représente que les 5 ou 6 dixièmes de celui qui a été absorbé. Cet oxygène a donc dû se fixer sur les produits hydrocarbonés. Il y a parallèlement une abondante excrétion d'urée.

2° Dans les fièvres lentes et dans l'hecticité, les combustions sont également augmentées, mais moins que dans les fièvres franches. L'exhalation d'acide carbonique est moindre encore par rapport à la consommation d'oxygène. — Les graisses disparaissent très vite. D'où l'amaigrissement considérable et rapide. L'urée est remplacée en grande partie par des produits moins oxydés.

3° Dans toutes maladies cachectiques où le sang a perdu sa capacité respiratoire et où il arrive moins d'oxygène aux tissus, il y a diminution dans la consommation d'oxygène et dans l'exhalation d'acide carbonique. Le mauvais état des fonctions digestives fait que les produits hydrocarbonés doivent, eux aussi, fournir aux combustions; il y a encore amaigrissement; l'urée est diminuée.

4° Dans la convalescence, les combustions diminuent. Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ augmente. Il y a augmentation de poids du malade.

5° Dans toutes les maladies qui produisent une asphyxie mécanique, il y

a diminution faible des combustions. Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ n'est pas modifié ou bien il est augmenté. L'urée est un peu diminuée.

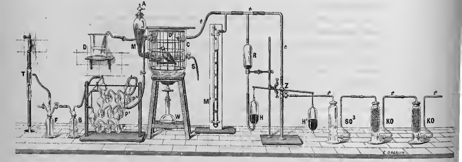
Nous terminons notre travail par une étude de la calorimétrie appliquée à la pathologie. Cette partie de la science est malheureusement tout à fait à son début.

Notre ouvrage a été couronné en 1883 par l'Académie des sciences, qui lui a décerné le prix de Physiologie expérimentale de la fondation Montyon.

4. — Appareil destiné à maintenir un animal à une forte dépression tout en dosant l'acide carbonique qu'il exhale.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1894.)

Dans nos recherches sur l'influence de l'altitude sur les conditions de la vie, nous avons eu besoin de maintenir un animal à une dépression correspondant à la hauteur du Mont-Blanc et cela *pendant des mois* sans une



minute d'interruption. Il nous fallait en même temps doser l'acide carbonique qu'il exhalait. Nous sommes arrivé à ce résultat difficile en plaçant l'oiseau qui nous servait dans une cloche renversée et fermée par une

plaque, une trompe à eau T faisait le vide en permanence, l'air qui sortait de la cloche traversait une série de barboteurs à potasse et à baryte dont le dernier B devait toujours rester limpide : ces barboteurs étaient changés tous les jours et l'acide carbonique qu'ils avaient retenu était analysé. La nourriture était donnée à l'animal en ouvrant une seconde le robinet A : la pression atmosphérique poussait la graine M dans la mangeoire. En présentant au tube S un verre d'eau on le faisait passer par le même mécanisme dans l'auge de l'animal. Enfin un tube d'étain percé de mille petits trous dirigés sur le verre de la cloche et dans lequel la pression atmosphérique injectait l'eau contenue en D permettait chaque jour de rincer la cloche, de recueillir en W les excréments et de doser l'azote excrété.

Pour que la pression dans l'appareil fût toujours la même, un régulateur R agissait de la façon suivante. Quand la dépression se produisait, le mercure contenu en H montait en R; H se trouvait allégé, H′ devenait plus lourd, d'où bascule de la tige Z qui ouvrait de ce fait le robinet de rentrée de l'air dans la cloche. Cet air passait sur de la potasse en KO pour se débarrasser de son CO^2. Dès que la pression calculée était rétablie dans la grande cloche le mercure de R retombait en H, le robinet était fermé et se rouvrait quand la pression diminuait de nouveau. Nous avons pu maintenir avec cet appareil un pigeon à une dépression correspondant à 4800 m. et doser l'azote et CO^2 rejetés pendant de longs mois.

5. — Étude sur la capacité respiratoire du sang des animaux plongeurs. Sa comparaison avec la capacité du sang des autres animaux.

(En commun avec M. R. Blanchard)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

I. — Il existe dans la classe des reptiles un certain nombre d'espèces qui jouissent de la faculté de vivre assez longtemps sous l'eau, loin de l'air, bien que possédant une respiration exclusivement aérienne. Les crocodiliens, par exemple, nous fournissent un type très net qu'il est facile de comparer aux reptiles terrestres tels que les sauriens et les ophidiens.

Si, par les procédés connus, on mesure la capacité respiratoire du sang

comparativement chez un saurien de grande taille, tel que le varan du désert (*Varanus arenarius*), et chez un caïman à museau de brochet (*Alligator mississipiensis*), on voit que chez le premier elle est égale à 5, tandis qu'elle est égale à 8,4 chez le second. Le même rapport se rencontre, à fort peu près, chez d'autres animaux de la même classe.

II. — Chez les oiseaux, il existe aussi des espèces plongeuses. En prenant la capacité respiratoire du sang d'un poulet et du sang d'un canard, nous trouvons que chez le premier elle est de 12 et qu'elle est de 18 chez le second.

III. — En cherchant à déterminer le même rapport chez les mammifères, nous trouvons que, chez le chien, la capacité respiratoire moyenne est de 20 à 25 pour 100.

Grâce à la récente création de la Station maritime de physiologie établie au Havre, nous avons pu prendre la capacité respiratoire du sang d'un phoque (*Phoca vitulina*). Le chiffre que nous avons obtenu dépasse de beaucoup tous ceux qu'on a publiés jusqu'à ce jour pour les autres animaux. Il est, en effet, de 37,8.

Ainsi se trouve confirmée pour tous les vertébrés cette loi, que, chaque fois qu'un animal devra demeurer longtemps sans respirer, il se fera, grâce à la richesse en hémoglobine de son sang, un emmagasinement d'oxygène sur lequel il pourra vivre.

Il est, ce nous semble, possible de rapprocher de notre étude celle que Paul Bert a faite sur les animaux habitant les hauts plateaux des Andes. Eux aussi se trouvent dans une atmosphère mal oxygénée, eux aussi ont dans leur sang une quantité d'hémoglobine qui leur permet d'accumuler une quantité plus grande d'oxygène.

6. — Détermination du pouvoir respiratoire du sang du fœtus.

(En commun avec M. Dubois.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

Le sang du fœtus différant notablement de celui de l'adulte au point de vue de sa constitution, nous nous sommes proposé de rechercher s'il en était de même en ce qui concerne le pouvoir respiratoire.

L'expérience a justifié nos prévisions.

Nous avons alors pensé à rechercher si, pendant la grossesse, le sang de l'adulte ne subirait pas des modifications correspondantes.

L'examen comparatif du sang de la mère et de celui du fœtus nous a montré qu'il n'en était pas ainsi.

7. — Recherches sur la capacité respiratoire du sang chez les animaux primés au concours général de 1880.

(*Annales de l'Institut agronomique*, 1878-1880.)

Nous avons d'abord fait quelques expériences sur des animaux ordinaires, afin d'avoir un point de comparaison. Nous les avons choisis au hasard parmi les bêtes abattues à la Villette, le 5 et le 7 février 1880.

A. — Une vache de race charolaise, pesant 400 kilogrammes, est abattue le 5 février; 100 grammes de sang absorbent au maximum 9 centimètres cubes d'oxygène.

B. — Un jeune taureau abattu le même jour nous donne du sang qui absorbe 13 centimètres cubes d'oxygène pour 100 grammes de liquide.

C. — Un mouton berrichon, très maigre, est tué le 8 février; 100 grammes de sang absorbent 5^{cc},9 d'oxygène.

D. — Une brebis de même race nous donne 6^{cc},7. (Ces deux animaux étaient tuberculeux.)

E. — Un bélier de race allemande, pesant 40 kilogrammes et très bien portant, nous fournit le chiffre de 8^{cc},3 d'oxygène pour 100 grammes de sang.

F. — Un mouton tué à Joinville avait du sang qui absorbait 10 centimètres cubes pour 100.

Nous pouvons donc admettre que, chez les bœufs ordinaires, 100 grammes de sang absorbent de 10 à 15 pour 100 d'oxygène, et chez les moutons de 8 à 10. Chez ces mêmes animaux débilités par la maladie, le chiffre tombe à 6, à 8 pour 100.

Voyons maintenant ce que nous ont donné les animaux rapidement engraissés, qui ont été primés au Concours général.

G. — Le prix d'honneur a été remporté par un bœuf de race charolaise,

âgé de quarante-six mois, et pesant 880 kilogrammes à l'abattoir. Cet animal renfermait 70 kilogrammes de suif, soit la douzième partie de son poids vif, ce qui est assez considérable... Or, 100 grammes de son sang absorbaient 23^cc^,2 d'oxygène. Cet animal avait donc une intensité respiratoire considérable et ne pouvait passer pour un être débilité.

H. — J'en dirai autant du bœuf Durham-Manceau, âgé de trente-sept mois et pesant 855 kilogrammes, qui remporta le premier prix. Il contenait 88 kilogrammes de suif, soit la dixième partie de son poids vif environ... Son sang absorbait 18^cc^,5 d'oxygène pour 100.

I. — Un deuxième prix fut donné à une vache Durham-Charolaise, du poids de 750 kilogrammes, âgée de quatre ans, et contenant 64 kilogrammes de suif, soit la onzième partie de son poids. Son sang absorbait 18^cc^,8 d'oxygène pour 100.

J. — Un deuxième prix fut aussi décerné à un bœuf Durham, de quarante-trois mois, pesant 870 kilogrammes, et contenant 96 kilogrammes de suif, soit la neuvième partie du poids vif. Son sang absorbait 21^cc^,3 pour 100 d'oxygène.

K. — Un des prix pour les moutons a été donné à trois animaux de la race Southdown, pesant 207 kilogrammes.

Leur sang absorbait :

Pour le mouton	α.	15	pour 100.
—	β.	14,8	
—	γ.	16,6	

L. — Un autre prix a été remporté par 3 moutons berrichons du poids de 157 kilogrammes.

Leur sang absorbait :

Pour le mouton	α.	16,2	pour 100.
—	β.	17,3	
—	γ.	18,5	

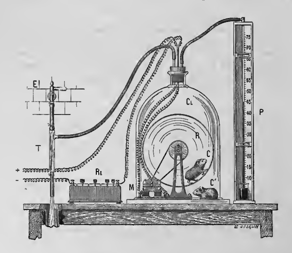
M. — Un porc normand-picard, du poids de 274 kilogrammes, a été primé : son sang renfermait seulement 12^cc^,6 pour 100 d'oxygène.

Ce qui résulte de toutes ces analyses, c'est que les animaux engraissés intensivement ne sont pas pour cela des animaux dans un état pathologique, puisque leur sang est beaucoup plus riche, et leurs fonctions respiratoires beaucoup plus actives que chez les autres êtres.

8. — Sur le mécanisme du mal des montagnes.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1894.)

Dans une discussion qui s'est élevée en 1894 sur la cause du mal des montagnes, deux opinions se sont fait jour. Pour les uns le mal des montagnes est une simple fatigue puisqu'on l'éprouve quelquefois à la descente au



moment où on est le plus fatigué, pour d'autres c'est une véritable asphyxie résultant de la diminution de la tension de l'oxygène aux grandes altitudes. Nous croyons avoir démontré par une expérience que ces deux opinions sont trop exclusives et quê le mal des montagnes dérive des deux causes. En effet dans une cloche on produit avec une trompe une dépression que l'on peut lire au manomètre. Sous cette cloche sont deux cobayes : l'un est tranquille et l'autre astreint à une grande fatigue obligé qu'il est de tourner dans une roue. Ce dernier tombe malade à 4600 mètres environ pendant

que le second ne manifeste franchement le mal des montagnes que vers 8000. En somme tous deux ont la même quantité d'oxygène à leur disposition, l'un la consomme pendant que l'autre l'épargne, de là la différence entre leur manière de se comporter.

9. — Action du nitrite d'amyle sur les phénomènes intimes de la respiration.

(En collaboration avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Nous étudions dans ce travail l'influence des inhalations de vapeurs de nitrite d'amyle sur les produits de la respiration, sur les gaz normaux du sang et sur son pouvoir absorbant vis-à-vis de l'oxygène.

Expérience I.

Chien du poids de 13 kilogr. 85, en une heure et à l'état normal,

Fournit.	7 lit. 355	CO^2
Absorbe.	9 lit. 470	O

$$\frac{CO^2}{O} = 0,77$$

Après inhalation de nitrite d'amyle,

Il fournit.	5 lit. 440	CO^2
Et absorbe.	6 lit. 131	O

$$\frac{CO^2}{O} = 0,88$$

Expérience II.

Chien de 13 kilogr. 200, normal et en une heure,

$$CO^2 = 5,416 \qquad O = 7,815 \qquad \frac{CO^2}{O} = 0,69$$

Le même, après inhalation de nitrite d'amyle,

$$CO^2 = 3,360 \qquad O = 3,520 \qquad \frac{CO^2}{O} = 0,98$$

L'examen des gaz du sang fournit des résultats concordants.

	Oxygène du sang artériel		*Capacité respiratoire*	
	AVANT	APRÈS	AVANT	APRÈS
I. — . . .	16	5,3	25	6
II. — . . .	20,3	8,4	23,6	12

L'examen spectroscopique montre la présence de la méthémoglobine.

10. — Notes sur les phénomènes chimiques et mécaniques de la respiration chez le *Varanus arenarius*.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

L'inspiration se fait brusquement chez le *Varanus arenarius*, puis la glotte se ferme pendant quelques secondes. Vient ensuite une ouverture rapide de cet organe, qui laisse échapper environ le cinquième de l'air contenu dans le poumon; succède alors une longue pause et finalement une expiration brusque. Un varan d'un kilogramme absorbe 42 cent. cubes d'oxygène à l'heure et exhale 29 cent. cubes de CO^2. $\frac{CO^2}{O} = 0,69$.

11. — Phénomènes chimiques de la respiration chez les axolotls.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Les produits de combustion de l'axolotl par kilogramme et par heure et par une température qui a varié de 7 à 9 degrés ont été les suivants :

CO^2 produit. . . . . . . 26^{cc}
O absorbé. . . . . . . 45^{cc}
Rapport $\frac{CO^2}{O} = 0,599$.

12. — Note sur les conditions de la vie dans les grandes profondeurs de la mer.

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1884. — Voyez aussi les *Comptes rendus de la Société de biologie* de la même année.)

Il est dans l'ordre des choses que toute grande découverte faite par les naturalistes provoque immédiatement les recherches des expérimentateurs. Quand les voyageurs qui avaient parcouru les hautes régions des Andes rapportèrent la relation des accidents singuliers qu'éprouvent l'homme et les animaux non accoutumés aux altitudes, il en résulta les travaux célèbres de Paul Bert et cette quantité considérable d'expériences qui non seulement expliquèrent le mal des montagnes, mais arrivèrent à mettre au jour les faits les plus singuliers, tels par exemple que la toxicité de l'oxygène, cet agent si nécessaire à notre existence.

On peut dire que l'un des plus grands événements scientifiques contemporains, c'est le dragage des grandes profondeurs de l'Océan par les missions du *Travailleur* et du *Talisman*.

Un fait qui frappe beaucoup lorsqu'on lit la relation si intéressante des dragages opérés par la Commission, c'est que la mer contient deux faunes superposées. A la surface se rencontrent toutes les espèces que nous connaissions jusqu'à ce jour : elles vivent là dans un domaine limité; de 2500 à 3000 mètres, on rencontre des individus de plus en plus rares, à mesure qu'on s'enfonce. Au-dessous se trouve la faune abyssale, composée d'êtres singuliers, qui, eux, ne viennent jamais en haut, qu'on ne voit guère non plus au-dessus d'une profondeur de 3000 à 4000 mètres. La mer, au point de vue de la vie animale, se trouve donc divisée en deux régions, en deux étages superposés que ne franchissent pas les êtres qui les habitent.

Qu'arriverait-il si l'on prenait un animal des profondeurs et si on le ramenait à la surface? Que surviendrait-il si, prenant un animal de la surface, on le plongeait dans les profondeurs? Voilà, ce me semble, le problème que doit se poser le physiologiste.

En attendant que quelque expérimentateur heureux puisse entreprendre cette intéressante série de travaux, nous avons essayé, dans le laboratoire même de la Sorbonne, de reproduire expérimentalement les conditions de la vie aux grandes profondeurs.

Nous avons utilisé pour cela un admirable appareil qu'ont bien voulu nous confier MM. Cailletet et Ducretet, et qui nous permet d'obtenir des pressions de plus de 1000 atmosphères, correspondant à des fonds de plus de 10 000 mètres. Nous avons commencé par l'étude des ferments.

Dans un tube muni d'une ouverture capillaire, nous plaçons de la levure de bière et nous la soumettons subitement à une pression de 600 et même de 1000 atmosphères. Nous la laissons ainsi pendant quelques heures, puis nous la retirons. Elle est alors mise dans un vase avec de l'eau sucrée à une température convenable. Pendant près d'une heure elle ne donne pas signe d'existence, on la dirait morte; la fermentation du glucose ne se fait pas, puis tout à coup on voit quelques bulles; la levure, simplement endormie, se réveille lentement, et la fermentation finit par se faire.

Recommençons l'expérience, mais en mettant dans l'appareil la levure en présence du glucose, puis foulons 600 ou 700 atmospbères. De la levure témoin, placée à côté, commence sa fermentation en moins d'un quart d'heure; la levure enfermée sous pression reste inerte. Mais, délivrée, elle se réveille encore et produit la fermentation.

Ainsi la pression des grands fonds fait tomber dans une vie latente, qui, à la longue, doit amener la mort, les êtres unicellulaires de la surface. Ceci est assez en rapport avec ce qu'ont observé les naturalistes du *Talisman*, qui n'ont jamais ramené des grands fonds aucune substance en fermentation ou en décomposition.

Qu'arrive-t-il aux ferments solubles soumis aux hautes pressions? Rien. De l'amidon cuit mélangé de salive est mis dans l'appareil à 1000 atmosphères : tout l'amidon est transformé en sucre. Il fallait bien s'y attendre, ou bien il aurait fallu supposer que tous les êtres de la faune abyssale avaient une physiologie différente de la nôtre, ce qui n'était pas vraisemblable.

Après les êtres unicellulaires, et en suivant la gradation, viennent les végétaux. On sait qu'au-dessous de 60 mètres on n'en rencontre guère. Il n'existe donc pas de flore abyssale. Il était néanmoins intéressant de connaître ce qui leur advenait quand ils se trouvaient précipités dans les grands fonds. Nous mettons pour cela des algues sous pression. Puis nous les exposons au soleil dans un récipient approprié. Elles se mettent lentement à décomposer l'acide carbonique, puis elles meurent et tombent en décom-

position en quelques heures. Des graines de cresson alénois, soumises à 1000 atmosphères, restent endormies une semaine après avoir été délivrées; puis elles se mettent à germer, mais très lentement, tandis que d'autres graines, prises comme termes de comparaison, avaient en deux jours émis leurs cotylédons. Les graines, elles aussi, étaient donc tombées en vie latente.

C'est encore ce même phénomène que nous observons sur les infusoires. Nous mettons sous 600 atmosphères de l'eau croupie fourmillant d'infusoires de toutes espèces : à la sortie de l'appareil, beaucoup de ces animaux sont tombés au fond du tube, d'autres se traînent sur la plaque du microscope. Mais peu de temps après, ils sortent de leur vie latente et reprennent leurs mouvements. On voit la même chose en soumettant aux grandes pressions d'eau les mollusques; mais le phénomène n'est pas facile à observer, à cause de la lenteur et de l'obscurité des manifestations de ces animaux. Sur les annélides et les crustacés, même effet : vie latente d'abord, mort après un séjour prolongé. Si quelqu'un voulait répéter nos expériences, nous lui conseillerions de se servir de ces êtres et de mettre sous pression des sangsues, des daphnies, des cyclopes. Leur sommeil est obtenu instantanément, et leur réveil se fait peu de temps après leur délivrance.

Si nous arrivons aux animaux aquatiques supérieurs, aux poissons, notre étude prend, croyons-nous, un intérêt tout spécial. Soumettons un cyprin doré à 100 atmosphères, mais, auparavant, vidons sa vessie natatoire en le plaçant sous la cloche de la machine pneumatique : sans cette précaution, les gaz de cette vessie se dissoudraient dans le sang, puis s'échapperaient en moussant au moment de la décompression, et l'animal serait tué par le même mécanisme d'arrêt circulatoire qui tue les plongeurs et les scaphandriers retirés du fond trop brusquement. Nous supposons donc la vessie de notre poisson bien vidée, et nous le soumettons à 100 atmosphères. Il ne semble nullement en être incommodé. A 200 atmosphères, il sort de l'appareil un peu engourdi, mais il se remet vite; à 300 atmosphères, il est mort ou mourant; à 400 atmosphères, correspondant à plus de 4000 mètres de fond, il est mort et absolument *rigide*. Ainsi, dans l'appareil, cette latitude de dénivellement de 2000 à 2500 mètres, observée par les naturalistes du *Talisman*, se trouve reproduite. Les poissons de la surface peuvent franchir une telle distance verticale, mais ils ne peuvent, sous peine de vie latente d'abord, de mort ensuite, aller au delà.

Ce qui est frappant, c'est cette rigidité extrême du muscle. Pour la mieux étudier, nous avons introduit dans l'appareil des cuisses de grenouilles pour les soumettre aux différentes pressions citées plus haut. Or, à 400 atmosphères (4000 mètres), la rigidité s'est produite telle qu'on cassait la grenouille en deux plutôt que de fléchir un de ses membres. Cette rigidité obtenue presque instantanément persiste jusqu'à la putréfaction : elle diffère en cela de la rigidité cadavérique.

13. — Phénomènes objectifs que l'on peut observer sur les animaux soumis aux hautes pressions.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Tout ce que nous avons étudié jusqu'à présent ne nous a pas permis de voir ce qui se passe pendant la compression elle-même; en effet, nous introduisons nos animaux dans l'appareil; puis, après les avoir soumis à une pression correspondant à un fond donné, nous les retirons et nous constatons l'effet produit. Tout ce qui se passe entre le début et la fin de l'expérience nous échappe.

Il en résulte que nous ne savons pas si les phénomènes observés résultent de la pression même, ou au contraire de la dépression consécutive.

Un seul moyen nous restait pour obtenir la vérité sur ce point, c'était de voir tout ce qui se passait pendant la compression. Pour cela, il fallait construire un vase *transparent* résistant à une pression de 600 atmosphères; c'est ce que nous avons tenté de faire.

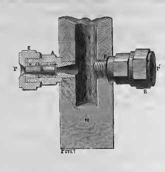
Il est bien évident qu'il nous fallait absolument abandonner l'idée d'un récipient en verre; au delà d'une vingtaine d'atmosphères, tous les vases de cette nature sont brisés et cela d'une manière d'autant plus dangereuse que les changements de texture du verre se font silencieusement et que tel récipient qui a résisté à 20 atmosphères se brise subitement à 7 ou 8 dans une épreuve subséquente.

L'acier seul pouvait nous servir et nous avons imaginé de creuser à l'extrémité inférieure d'une culasse d'acier fondu M, deux orifices en ligne droite dans lesquels nous avons essayé d'enchâsser des lames de glace de Saint-Gobain de 5 centimètres d'épaisseur.

Nous avons, dès le début, été arrêté par ce fait que, vers 200 atmosphères, la glace la plus homogène se brisait, se poudroyait absolument, la haute pression ayant produit une trempe des plus dangereuses.

Nous avons alors essayé de quartz, dont la texture cristalline est beaucoup plus homogène, et nous avons réussi à faire des cônes B, qui, enchâssés dans une garniture spéciale de glu marine et de gutta G, et soutenus par un solide contre-écrou E, en acier fondu, ont pu résister aux essais, à une pression de plus de 800 atmosphères.

On conçoit dès lors comment, avec une semblable disposition, il est



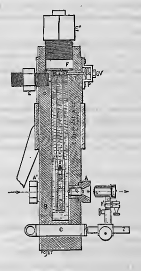
possible de faire passer un rayon de lumière électrique à travers les deux hublots et, si les animaux en expérience se trouvent sur le trajet de ce rayon, leur image pourra être recueillie au dehors par un objectif et projetée sur un écran avec tel grossissement que l'on voudra.

C'est ce que montre la figure ci-contre, qui représente une coupe de la totalité de notre appareil.

B représente la coupe de la culasse d'acier, A un des hublots vu en coupe avec son ouverture O et son quartz Q qui, ici, est très peu conique. A′ représente le hublot opposé vu en exécution. Le collier C et la crémaillère Z portent l'objectif achromatique L, L′ que des vis et une genouillère P′ permettent de placer dans toutes les situations possibles. Le rayon lumineux traverse l'appareil, suivant le sens marqué par les flèches.

Un chapeau d'acier F est solidement serré par un écrou de bronze E, sur un cuir gras et assure la fermeture du récipient dans lequel l'eau faisant pression est introduite par l'écrou à vis E, mis en rapport par un tube de cuivre capillaire avec la presse Cailletet.

L'instrument présente même un perfectionnement. En face des hublots,



en Cu, on aperçoit la cuve de glace où seront renfermés les animaux; cette cuve est suspendue par des fils de soie à un treuil en cuivre Po, que l'on peut manœuvrer de l'extérieur par une poulie T. On peut donc monter ou descendre la cuve et amener devant les hublots la partie que l'on veut étudier. Chose curieuse : la perfection des joints est telle dans cet instrument que, malgré les nombreuses causes de fuites qu'il présente, la pression colossale de 600 et de 800 atmosphères s'y garde pendant des heures.

C'est ainsi que l'appareil a été monté dans une chambre obscure au laboratoire de la Faculté des sciences de Paris.

Ceci dit du manuel opératoire, examinons ce qui se passe quand on met les animaux sous les pressions qui correspondent aux grands fonds de l'Océan.

Nous nous servons pour cela de cyclopes, de gammarus pulex, de daphnies, etc., en un mot d'animaux assez petits pour que leur corps ne vienne pas fermer complètement les hublots de l'appareil et pour que leur transparence nous permette de suivre même les mouvements de leurs organes pendant l'expérience.

Dès les premiers coups de pompe, les animaux, qui nageaient tranquillement dans le liquide, sont pris d'une certaine inquiétude; ils s'agitent, et cela jusqu'à ce qu'on ait atteint une profondeur d'environ 1000 mètres (100 atm.). Mais, en somme, ils continuent à vivre dans les mêmes conditions qu'à la surface.

Au delà de 1000 mètres, ils tombent lentement au fond de l'eau ; leurs membres s'agitent avec rapidité, leurs appareils natatoires se raidissent et sont pris d'un tremblement très énergique. Les animaux demeurent, à part cela, immobiles au fond de l'eau. Ils semblent incapables de se mouvoir, ils sont tétanisés.

Si on les mène rapidement à 400 atmosphères (4000 mètres), on les voit tomber subitement comme une pluie jusqu'au fond de la cuve, où ils restent inertes, sans avoir même les mouvements de tremblements de la première période. Ils demeurent dans cet état tant que dure la pression.

Chaque fois que cette pression change brusquement, ne fût-ce que d'une vingtaine d'atmosphères, les animaux sont pris d'une secousse tétanique unique et générale, puis ils retombent dans le repos.

Si on les ramène d'un coup vers 1000 mètres ou à la surface, ils reprennent *instantanément* leur course dans le liquide sans paraître avoir été le moins du monde incommodés.

Ceci nous démontre que les accidents que nous avons signalés sont bien des accidents de pression et non de dépression, car, dans ce dernier cas, les animaux seraient malades après la dépression, et c'est le contraire qui a lieu.

Suivant nous, la différence de compressibilité entre les substances animales et l'eau, différence très faible, mais réelle, fait que, aux hautes pres-

sions, le système nerveux, comprimé, est d'abord excité, puis inhibé (tétanisme du début, coma à 4000 mètres). La suppression de la pression lui rend son état primitif et ses fonctions.

Si on prolonge la pression pendant longtemps, qu'arrive-t-il? Il arrive ce que nous avons déjà décrit. Le coma persiste après la compression, et l'animal met plusieurs heures à revenir à son état primitif, au lieu de ressusciter subitement.

C'est qu'alors, en vertu de la différence de compressibilité, les tissus se sont laissé imbiber lentement d'eau qui les a pénétrés, et il faut que cette eau ait été chassée pour que l'animal reprenne ses fonctions. Jusque-là, il demeure en état de vie latente.

En résumé, les premiers résultats des hautes pressions sur les animaux sont : l'excitation du système nerveux, puis son inhibition par compression; les résultats consécutifs, si la pression dure, sont l'imbibition des tissus (nerveux et autres) comprimés et l'état de vie latente jusqu'à ce que, après la décompression, ils se soient débarrassés de l'excès d'eau.

Si la pression dure plus longtemps encore, les tissus ne peuvent arriver à la *restitutio ad integrum* et meurent.

14. — Sur un appareil permettant de suivre par la vue les phénomènes qui se passent sous l'influence de hautes pressions.

(*Comptes rendus de l'Institut et de la Société de biologie*, 1885.)

Dans cette note, nous faisons connaître à l'Académie la construction d'un très grand appareil de compression.

Comme dans nos petits appareils, pour arriver à voir ce qui se passe dans le bloc d'acier pendant que les animaux sont soumis à la compression, nous avons imaginé de percer deux trous à son extrémité inférieure. Les deux trous sont garnis de hublots en quartz. Un rayon de lumière électrique les traverse, est recueilli par un objectif, et va projeter sur un écran l'image des objets qui sont à l'intérieur du bloc. On peut ainsi suivre tous les phénomènes sans courir les dangers que comporterait, par exemple, la fracture possible des hublots.

15. — Sur un nouveau montage destiné aux hublots des appareils à hautes pressions.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1887.)

Ce point de technique a son importance. Les hublots de verre et de quartz destinés à supporter de 600 à 1000 atmosphères se brisent le plus souvent en s'écrasant sur leur monture. Nous avons évité cet inconvénient en les montant sur cuir embouti à la façon des pistons des presses hydrauliques.

16. — La contraction musculaire sous les hautes pressions.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1887.)

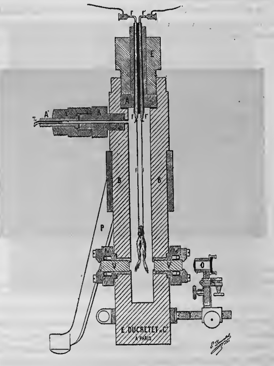
Un appareil spécial que nous reproduisons ci-dessus, nous a permis de voir ce que devenait la contraction musculaire dans le fond de l'Océan. Un poisson que son poids y entraînerait pourrait-il encore s'y servir de ses muscles?

B est un bloc d'acier fondu dans lequel la presse envoie l'eau comprimée par le tube A', solidement fixé par un écrou de bronze E'. Le bloc B est percé à son extrémité inférieure de deux trous Ra et Ra' dans lesquels sont maintenus, dans des cuirs emboutis, deux blocs de quartz V et V'. Un objectif O est placé devant V et projette sur un écran l'image qu'il recueille à travers les hublots, dans le bloc où pénètre un faisceau concentré de lumière électrique.

L'appareil entier est clos par un chapeau d'acier A, que serre sur un cuir plat la tête de bronze E, que l'on manie à la clef.

Pour notre expérience, le chapeau A est percé d'un trou dans lequel se trouve engagé un bloc d'ébonite tronconique à sommet supérieur. Ce bloc est percé de deux trous où passent deux fils de cuivre F, F', terminés par des bornes auxquelles arrive le courant d'un excitateur. A ces fils on peut suspendre dans l'eau des cuisses de grenouilles préparées à la Galvani et dont les extrémités arrivent juste en face des hublots. Elles se trouvent donc projetées sur l'écran, et leurs moindres mouvements sont non seulement visibles, mais amplifiés.

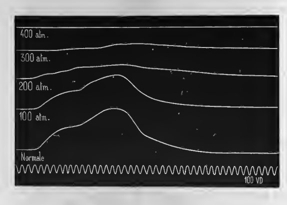
Plaçons nos muscles de grenouilles comme nous venons de le dire, et cherchons quelle va être sur eux l'influence de la pression. Nous envoyons d'abord une excitation sans avoir fait fonctionner la pompe : le mouvement



est très intense. Puis nous lançons 100 atmosphères : il y a à peine modification dans la contraction. Nous montons à 200, la contraction est beaucoup diminuée, à 300 elle est encore sensible, à 400 elle n'existe plus, quelle que

soit l'intensité du courant excitateur. La pression peut se faire tellement vite dans le bloc, qu'on a monté de 0 à 400 atmosphères en moins de cinq secondes : il n'y a donc pas lieu de faire intervenir l'action chimique de l'eau sur le tissu musculaire.

Il faut conclure de cela que la compression du protoplasma musculaire ne le paralyse que vers la profondeur de 4000 mètres, mais que, dès 2000 mètres, un animal serait déjà bien empêché de se mouvoir et que, par

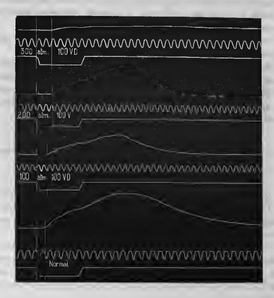


conséquent, même dans la zone qui confine aux deux étages et qui est habitée, des êtres vivants doivent difficilement franchir des dénivellations de 2000 mètres.

Ceci connu, il nous a semblé intéressant de rechercher ce que devenait le graphique de la contraction dans un muscle qui avait subi les grandes pressions.

Pour cela nous avons préparé des grenouilles pour le myographe et nous les avons successivement plongées dans l'appareil à 100, 200, 300 et 400 atmosphères, en ne les laissant que deux minutes et en prenant un tracé entre chaque compression. Notre figure représente le résultat de cette expérience.

Un muscle qui a subi 100 atmosphères a une contraction déjà un peu plus faible que la normale. Après 200 atmosphères, la contraction est très diminuée comme intensité, mais elle est allongée. A 300 atmosphères, la contraction est à peine sensible, mais la chute en est très ralentie. Enfin à



400, il n'y a plus rien ; le protoplasma est déchiré par sa diminution de volume, et ses attaches aux gaines sont rompues.

Ce changement dans l'allongement de la courbe de la contraction nous faisait prévoir un changement corrélatif dans le nombre des excitations nécessaires pour amener le tétanos. On sait, en effet, qu'il faut d'autant moins d'excitations que le muscle est plus lent à se rétracter.

Nous prenons donc un muscle de grenouille et nous cherchons le

nombre d'excitations nécessaires pour le tétaniser. En tâtonnant, il nous faut treize excitations par seconde pour obtenir un état très voisin du tétanos.

Après une pression de 300 atmosphères, il suffit de cinq excitations par seconde pour obtenir une tétanisation des plus nettes.

Enfin, pour compléter notre travail, nous avons voulu voir l'influence qu'aurait la grande compression sur la durée de l'excitation latente du muscle.

Procédant toujours de la même manière, nous avons recueilli le tracé ci-dessus.

Normalement, sur un muscle de grenouille, le temps perdu était d'un centième de seconde. Après une pression de 100 atmosphères, il était monté à deux centièmes; il était de deux centièmes et demi après 200 atmosphères et, après une pression de 300 atmosphères, il était arrivé à près de trois centièmes.

17. — Sur la cause de la rigidité des muscles soumis aux hautes pressions.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Quand, dans l'eau, on soumet des muscles à des pressions considérables (600 à 1000 atmosphères), on obtient presque instantanément une rigidité intense, au point que, dans les expériences les mieux réussies, on casse plutôt les membres de l'animal que de les faire plier.

On voit en même temps, en poussant plus loin les recherches, que les muscles superficiels sont les plus contractés, que certains muscles profonds sont quelquefois tout à fait relâchés. Le cœur, en particulier, continue souvent de battre, alors que presque tous les muscles proprement dits sont contracturés.

Il semblerait donc que la pression ne doit concourir en rien à la production du phénomène, puisque évidemment tous les muscles la supportent à un même degré.

En revanche, il est possible que, sous les pressions énormes que nous produisons, l'eau puisse pénétrer subitement dans les tissus et produire la tétanisation que nous observons.

S'il en est ainsi, nous connaissons la cause de cette tétanisation, et au

moins une des causes de la mort des animaux portés aux grandes profondeurs.

Or plusieurs expériences nous permettent de penser que le processus est bien celui que nous venons d'indiquer.

1° Si on pèse soigneusement des pattes de grenouille avant et après l'expérience, on trouve une augmentation considérable, qui, une fois, a pu aller à un cinquième du poids total, tandis qu'un témoin placé dans l'eau à la pression normale n'a pas sensiblement augmenté de poids.

2° Si on comprime des pattes de grenouille en les tenant à l'abri de l'eau, on n'observe plus la rigidité ni l'augmentation du poids. Pour réaliser cette expérience, on renferme une grenouille dans un sac en caoutchouc mince, puis on enlève tout l'air par le vide et on lie le sac. On met le tout dans l'appareil et on comprime à 600 atmosphères. L'expérience est donc identique aux autres, sauf que les muscles ne sont pas au contact de l'eau. Eh bien, dans ces conditions, quand on retire la grenouille, elle n'a pas augmenté de poids et elle n'est nullement contracturée. Donc, pression égale dans les deux cas ; d'un côté, contact avec l'eau : contracture et augmentation de poids ; de l'autre, absence de contact : absence de contracture, absence d'augmentation de poids.

L'expérience peut être faite d'un coup en se servant d'un animal qui s'y prête fort bien.

On prend un dytique. Cet animal est couvert d'un test chitineux extrêmement épais, difficile à traverser et qui protège les tissus sous-jacents contre l'imprégnation de l'eau. Comprimons à 600 atmosphères un de ces insectes dont nous aurons vidé autant que possible les trachées en le mettant dans le vide.

Retirons-le au bout d'un quart d'heure ; il est parfaitement vivant, tandis que le poisson placé à côté de lui est mort en quelques minutes.

Il est certain que les tissus autres que le muscle, plongés dans l'eau en pression, l'absorbent rapidement. Un bout de sciatique frais, qui pesait 4 grammes, pesait $4^{gr},4$ en sortant de l'appareil à 600 atmosphères : il était même sensiblement plus dur et plus rigide qu'avant. Un tronçon de moelle de chien pesait 12 grammes avant la pression et $13^{gr},2$ après. Il semble donc qu'il y a là une loi générale, qui peut nous expliquer la mort des animaux portés à grandes profondeurs.

L'eau, en effet, est un poison des tissus; elle tue les cils vibratiles, les spermatozoïdes, la fibre musculaire et la cellule nerveuse. Chez les animaux à sang chaud, cela est instantané; chez les animaux susceptibles de vie latente, nous voyons que nous provoquons ce mode d'existence avant de provoquer la mort.

Ainsi on savait que l'excès de chaleur, comme son absence, amenait la vie latente (Bernard).

On savait aussi que l'excès d'oxygène, comme son défaut (P. Bert), causait la maladie, puis la mort de la cellule.

On savait que le manque d'eau dans les tissus provoquait la vie latente (animaux reviviscents), puis la mort. On ne savait rien sur l'action d'un excès de cet élément. Nous pouvons annoncer aujourd'hui qu'il en est de l'eau comme des autres éléments essentiels à la vie, son excès comme son défaut amène la mort ou même, au début, la vie latente, chez les êtres susceptibles de supporter ce mode d'existence.

18. — Influence des hautes pressions sur la rapidité du courant nerveux.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1889.)

Le sciatique d'une grenouille est soumis successivement à des pressions qui varient de 100 à 300 atmosphères et qui correspondent, par conséquent, à des fonds de 1000 à 3000 mètres d'eau.

L'*excitabilité du nerf* est très diminuée sous l'influence de cet état. Un nerf qui amenait des contractions musculaires sous l'action d'un courant égal à 1 demande, pour amener la même contraction, un courant égal à 10 quand il a subi pendant dix minutes environ une pression de 300 atmosphères.

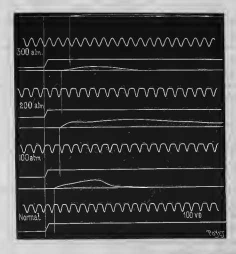
Mais cette étude est pleine d'incertitude. En effet l'excitabilité directe du muscle est très diminuée elle-même, et dans ces conditions il est difficile de retenir dans le résultat final ce qui appartient en propre au tissu nerveux.

Il est au contraire beaucoup plus simple de constater les changements apportés par la lésion nerveuse résultant de la pression dans la rapidité du courant nerveux.

En disposant l'expérience suivant le procédé classique, on obtient le tracé

qui est figuré ci-dessous. Le nerf sciatique de la grenouille a été coupé aussi près que possible de la moelle.

Normalement, la durée de parcours du tronçon nerveux ajouté à l'excitation latente a été de un centième et demi de seconde. Après une pression de 100 atmosphères la durée est portée à deux centièmes et à deux cen-



tièmes un quart à 200 atmosphères, à trois centièmes à 300 atmosphères. A 400 atmosphères, il n'y a plus de contraction musculaire; on ne peut donc pas connaître la durée du passage du courant nerveux si tant est qu'il passe.

On tiendra compte d'ailleurs de ce fait que la pression augmente beaucoup la durée du temps perdu. Ces chiffres ont donc une valeur relative et non pas une valeur absolue.

19. — Action des hautes pressions sur les tissus animaux.

(En commun avec M. Vignal.)

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1886. — Voyez aussi *Société de biologie*, 1884.)

1° *Épithélium.* — Après avoir mis sous 600 atmosphères un œsophage de grenouille, nous avons vu que toutes les cellules muqueuses E étaient comme éclatées; elles n'existaient plus que sous la forme d'un noyau entouré de protoplasma G.

Les cellules à cils vibratiles F paraissaient au premier abord intactes, mais un examen plus soigné montre que l'eau a pénétré dans leur intérieur et a refoulé ce protoplasma au voisinage du plateau sous la forme de petits grains.

Sur les infusoires ciliés, les cils vibratiles sont gonflés, doublés de volume, et ils ne reprennent leurs fonctions que quand ils ont perdu, après dépression, l'eau dont ils étaient gorgés. Le même fait se voit très bien sur le pédicule des vorticelles.

2° Le *tissu conjonctif* est distendu par l'eau, ses faisceaux sont écartés. Dans les tendons, les fibres sont séparées les unes des autres et baignent dans une atmosphère aqueuse.

3° Le *tissu musculaire* C présente des altérations de divers ordres : si la pression n'a duré que dix minutes, et si l'on examine les muscles profonds, on voit que la striation transversale est moins nette, D, et que le sarcolemme ne se montre plus à la surface du faisceau primitif, mais en est légèrement écarté. Les faisceaux sont devenus très friables et se brisent avec la plus grande facilité.

Si la pression a duré quelques heures, les lésions sont multiples. D'abord le sarcolemme est plus ou moins soulevé, *d*, *e*. La striation transversale n'existe que dans quelques rares endroits, la longitudinale est très irrégulière; généralement elle a complètement disparu. La substance striée est elle-même brisée, *g*, refoulée, *h*, par l'eau dans le tube du sarcolemme et présente successivement des renflements et des amincissements considérables. Sur des coupes transversales B, outre les lésions du tissu con-

jonctif ambiant, on voit que les fibrilles des faisceaux musculaires primitifs sont très écartées. Le protoplasma qui les sépare est gonflé, *b*, *c*, *d*.

4° Les *nerfs* A présentent, eux aussi, des lésions notables; en effet,



leurs fibres, soumises seulement pendant dix minutes à une pression de 600 atmosphères, ont des incisures beaucoup plus marquées qu'à l'état normal, et souvent la membrane de Schwann n'est plus accolée à la couche de protoplasma qui se trouve au-dessus de la myéline, mais en est écartée

plus ou moins. Lorsque la pression est maintenue plus longtemps, les incisures deviennent encore plus marquées et, en même temps, on voit qu'au niveau de chaque étranglement, *c*, la myéline est refoulée des deux côtés sur une longueur plus ou moins considérable, *d*, *e*, *f*.

5° Les *globules sanguins* sont toujours détruits dans les vaisseaux superficiels.

20. — Note relative à l'action des hautes pressions sur les mouvements des cils vibratiles.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1885.)

Quand on soumet un infusoire cilié à une pression de 600 atmosphères, on le voit arrêter les mouvements de ses cils vibratiles.

Chez les vorticelles on voit le grand fil spirale s'allonger, se détordre et cesser son action. Il faut une heure environ pour que l'animal se mette de nouveau à mouvoir ses cils et sorte de la vie latente. Après la pression, les cils sont manifestement augmentés de volume.

21. — Sur la putréfaction sous les hautes pressions.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1889.)

En soumettant des matières putrescibles à une pression de 700 atmosphères pendant plus d'un mois, nous avons pu les conserver intactes. Il en résulte que dans les grands fonds les matières animales doivent se conserver un certain temps jusqu'à ce qu'elles soient absorbées par les êtres qui existent sur ces points.

22. — Action des hautes pressions sur la vie végétale.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1895.)

Bien que les végétaux ne se rencontrent jamais dans les abîmes, il nous a semblé qu'il serait intéressant d'examiner comment ils se comporteraient sous les hautes pressions.

Nous aurions voulu voir si une plante portée à 500 ou 600 atmosphères

était capable de germer. Malheureusement l'expérience ne peut se faire que dans l'eau et nous n'avons jamais pu faire germer sous l'eau, même à la pression normale, aucune des graines que nous avons eues à notre disposition.

Nous avons mis des plantes étiolées dans notre grand appareil d'acier.

Nous les avons éclairées plusieurs heures par un puissant rayon de lumière électrique et nous n'avons pas vu la chlorophylle se former. Il est vrai que les plantes étaient dans l'eau et, bien que nous ayons employé du Cresson de fontaine qui y vit naturellement, ce n'était pas une condition très favorable.

Enfin la dernière recherche à faire était de tâcher de savoir si, sous haute pression, la chlorophylle était capable de décomposer l'acide carbonique et de dégager de l'oxygène.

Nous avons mis des Algues dans le réactif oxymétrique de Schutzenberger qui bleuit à la moindre trace d'oxygène, puis nous avons foulé 100, 200, 300, 400, 500 et même 600 atmosphères. Nous avons toujours vu la chlorophylle agir et le réactif devenir bleu. Mais tandis que la réaction s'opérait en cinq minutes à la pression de l'atmosphère, il fallait plusieurs heures dès qu'on atteignait 400 atmosphères.

De plus au bout de peu de jours les plantes jaunissaient, mouraient et tombaient en décomposition.

Des graines de Cresson alénois, portées à 1000 atmosphères pendant dix minutes, sont sorties de l'appareil gonflées d'eau et n'ont ensuite que très difficilement germé. (Voyez p. 34.)

23. — Du rôle de l'endosmose et de l'imbibition dans le gonflement protoplasmique sous les hautes pressions.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

Quand des tissus vivants sont soumis à l'action des hautes pressions, il se passe deux choses :

1° La pression comprime le protoplasma et, comme il est plus compressible que les gaines conjonctives qui le renferment, il se retire laissant une partie de celles-ci vides.

2° L'imbibition et l'endosmose se combinent alors pour remplir d'eau ces gaines et remplacer le protoplasma absent.

A la décompression le protoplasma reprend son volume, mais l'eau n'a pas le temps de s'en aller, le tissu semble donc gonflé et en réalité il a augmenté de poids.

Voilà le mécanisme; il nous reste à voir dans quelle mesure endosmose et imbibition concourent au phénomène.

Pour cela, il nous a fallu construire un endosmomètre spécial; il est composé d'un tube de verre cylindrique, fermé d'un côté par une membrane solidement ficelée et de l'autre par un ballonnet de caoutchouc incomplètement rempli.

On a deux appareils semblables pleins d'une même dissolution albumineuse, et qui, mis dans le même bain d'eau, fonctionnent identiquement puisque leur surface d'osmose est la même.

Mettons l'un dans le bloc, et l'autre dans une éprouvette cylindrique placée à côté; foulons sur le premier 400 atmosphères, puis, après vingt-quatre heures, pesons-les tous les deux : ils pèsent exactement le même poids l'un et l'autre, l'endosmose a donc été identique et la pression à peu près sans effet.

Il n'en va pas de même de l'imbibition et voici quelques expériences qui le prouvent.

On taille dans une feuille de papier-gélatine deux feuilles pesant exactement chacune un gramme, elles ont naturellement la même surface; on les place l'une et l'autre dans un tube rempli d'eau; sur l'une, on foule 400 atmosphères, l'autre est laissée à la pression normale. Après quinze minutes, la gélatine comprimée pèse 4gr,85 tandis que l'autre ne pèse que 4gr,60. L'expérience réussit mieux encore avec deux fragments de tige de *Laminaria digitata*.

L'un et l'autre pèsent 85 centigrammes. Un seul est porté dans l'eau à 300 atmosphères. L'autre baigne simplement dans une éprouvette. Après vingt-quatre heures la Laminaire comprimée pèse 2gr,50 et l'autre 2gr,25. En recommençant l'expérience encore trois fois, nous trouvons des différences souvent plus marquées puisqu'elles peuvent atteindre 50 centigrammes sur des fragments de 2 grammes. Ceci nous prouve donc qu'incontestablement l'imbibition est activée par les hautes pressions et qu'elle constitue

un processus qui entre pour beaucoup dans les phénomèmes que nous avons décrits.

24. — Note sur l'action des hautes pressions sur la fonction photogénique du Lampyre.

(En commun avec M. Dubois.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Les recherches de Panceri sur les organes lumineux des pyrosomes et l'examen, par le P. Secchi, du spectre de la lumière qu'ils émettent, semblent indiquer qu'il existe, sous le rapport de la fonction photogénique, une très grande analogie entre les animaux marins et les animaux terrestres phosphorescents.

Il y avait donc intérêt à rechercher si ces derniers pouvaient conserver la propriété d'émettre de la lumière après avoir été soumis à de hautes pressions.

Dans une première expérience, un lampyre (*L. noctilucus*) a été immergé, étant phosphorescent, dans un tube rempli d'eau et plongé aussitôt dans le réservoir de la pompe Cailletet : il a été maintenu pendant dix minutes à une pression de 600 atmosphères ; au bout de ce temps, l'insecte sorti du réservoir de la pompe était encore lumineux et resta lumineux bien que faiblement pendant quelques instants ; mais il était d'ailleurs absolument inerte : on put cependant, à plusieurs reprises, faire reparaître de faibles lueurs au moyen des courants induits.

25. — Effet des hautes pressions sur les animaux marins.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Les animaux marins soumis aux grandes pressions dans le laboratoire du Havre nous ont fourni une vérification des lois que nous avions préalablement établies.

Les animaux à carapace ont vu leurs tissus résister plus longtemps, attendu qu'ils étaient mieux défendus, sinon contre la pression, du moins contre la pénétration de l'eau.

26. — Influence des hautes pressions sur l'éclosion des œufs de poisson.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Qu'arrive-t-il si des œufs de poisson abandonnés à eux-mêmes tombent au fond de l'Océan, si, par exemple, ils se décollent de l'algue qui leur servait de support?

Pour le savoir, nous avons soumis des œufs de truite divisés en lots à des pressions variant de 100 à 600 atmosphères.

Tous ceux qui avaient été soumis à plus de 350 atmosphères n'ont donné aucun embryon. Les autres ont éclos.

Le point critique entre la faune ordinaire et la faune abyssale est donc bien, comme nous l'avons souvent dit, entre 3500 et 4000 mètres.

27. — Note sur un nouvel appareil pour l'étude de la respiration des animaux aquatiques.

(En commun avec M. Jolyet.)

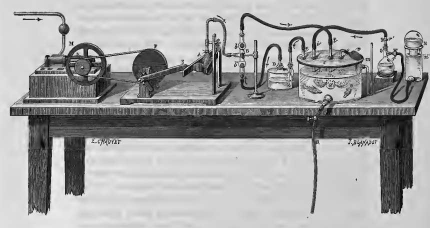
(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1876.)

Lavoisier est le premier physiologiste qui ait émis et réalisé l'idée de faire vivre un animal en vase clos, en absorbant l'acide carbonique à mesure qu'il est formé, et en rendant l'oxygène à mesure qu'il disparaît. Plus tard, M. le professeur Regnault, reprenant l'idée de Lavoisier, a fait construire un appareil ingénieux, au moyen duquel il a entrepris, en collaboration avec M. J. Reiset, une étude remarquable des produits gazeux de la respiration des animaux aériens.

Il fallait imaginer un procédé qui réalisât pour les animaux aquatiques les conditions obtenues par la méthode de ces savants pour les animaux terrestres, c'est-à-dire qui maintînt le milieu toujours normal, quelle que fût d'ailleurs la durée de l'expérience.

Que fait-on lorsque, dans un aquarium dont on ne peut renouveler l'eau, on désire conserver des poissons? On fait simplement passer dans cette eau un courant d'air qui a un double résultat : 1° il rend au liquide l'oxygène à mesure que celui-ci est dépensé par l'animal; 2° il entraîne l'acide carbo-

nique dissous. Le problème à réaliser était donc celui-ci : dans un espace limité, de capacité connue et parfaitement clos, contenant des quantités d'eau et d'air déterminées, faire circuler et barboter l'air dans l'eau et maintenir constante la composition de ces milieux en absorbant l'acide carbonique à mesure qu'il est exhalé et en remplaçant l'oxygène à mesure qu'il est consommé, de façon à y faire vivre des animaux pendant un temps donné.



Notre appareil est ainsi disposé. Les animaux sont placés dans un récipient C contenant un volume connu d'eau aérée que surmonte une couche d'air. Le récipient est rodé et fermé par une plaque de verre soigneusement lutée. Cette plaque porte quatre ajutages. Il faut noter que tous les raccords de l'appareil sont noyés dans l'eau, pour éviter toute rentrée d'air possible.

Le barbotage de l'air dans l'eau est produit par une poire de caoutchouc à parois épaisses A, communiquant par l'intermédiaire d'un système de soupapes à boules B, au moyen de tubes de caoutchouc, avec les ajutages t et t' de la plaque. L'ajutage t est terminé en pomme d'arrosoir et plongé dans l'eau, l'ajutage t' aboutit dans l'air qui est au-dessus de l'eau. La poire

est maintenue entre les branches articulées de l'appareil SP mis en mouvement par le moteur hydraulique de Bourdon, et destiné à comprimer la poire 30 à 40 fois par minute. Supposons l'appareil en place et la poire comprimée : l'air est chassé dans l'appareil B ; la boule *b* se soulève, tandis que la boule *b'* s'applique sur l'orifice, qu'elle obture ; l'air est donc poussé dans le tube *t* et vient s'échapper en gerbes au milieu de l'eau et éclater en bulles à sa surface. Il exercerait dans l'appareil une augmentation de pression si un petit sac *v*, à parois accolées l'une à l'autre, ne venait recevoir cet excès d'air. La poire revient sur elle-même, un jeu inverse des soupapes a lieu, et l'air aspiré revient du récipient à la poire par le tube *t'* après avoir barboté dans une dissolution de potasse caustique et s'être dépouillé de son acide carbonique. Le mouvement recommence, et ainsi se produit une véritable circulation de l'air qui sature l'eau d'oxygène et la dépouille de son acide carbonique. Mais, l'expérience se prolongeant, il y a consommation graduelle de l'oxygène de l'eau par les animaux, dissolution de l'oxygène de l'air, et par suite tendance à une diminution de pression dans l'appareil. Or, de l'oxygène pur, contenu dans une carafe jaugée O en communication par son orifice *r'* avec l'ajutage *i* du récipient, vient combler à mesure le vide, tandis que l'oxygène lui-même est remplacé dans la carafe par une quantité égale d'une dissolution de chlorure de calcium contenue dans l'appareil à niveau N. Ainsi se trouvent maintenues pendant toute la durée de l'expérience la tension et les compositions gazeuses de l'appareil.

Veut-on faire une expérience, on place dans le condenseur D de l'acide carbonique 500 centimètres cubes d'une dissolution de potasse titrée ; dans le réservoir O 500 centimètres cubes d'oxygène pur à zéro ; dans le récipient, 7 litres d'eau de Seine aérée, dont on a déterminé la composition gazeuse. Alors on introduit dans l'eau du récipient les animaux de poids et de volume connus ; on ferme hermétiquement, et l'on établit les communications respectives des ajutages de la plaque-couvercle. On note la pression barométrique et la température de l'appareil, qui forme alors une cavité close, de capacité déterminée, et le moteur est mis en mouvement.

L'expérience dure un ou plusieurs jours, et, en général, on l'arrête lorsque les animaux ont consommé les 500 centimètres cubes d'oxygène du réservoir. L'opération terminée, on note de nouveau la pression et la température, et l'on analyse l'air et l'eau de l'appareil. On connaît, en outre, la

quantité d'oxygène pur qui a passé du réservoir dans l'appareil. L'analyse du liquide potassique contenu dans le flacon D fait connaître la quantité d'acide carbonique absorbé. On connaît donc ainsi très exactement les quantités d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique que contenait l'appareil au début et à la fin de l'expérience, et par suite on possède tous les éléments nécessaires pour déterminer rigoureusement : 1° la quantité d'oxygène consommée par l'animal; 2° la quantité d'acide carbonique exhalée.

L'appareil que nous venons de décrire et qui se trouve figuré a depuis lors subi quelques modifications de détail, mais qui ne touchent pas au principe général qui a guidé sa construction. C'est ainsi que son installation au vivier de Concarneau a nécessité la modification suivante au dispositif décrit.

La pression de l'eau, qui constituait notre force motrice, nous faisait absolument défaut. Nous avons donc fait construire un moteur d'horlogerie à la fois assez puissant, assez régulier, et à marche assez longue pour remplacer le moteur de Bourdon.

Notre moteur est constitué par deux ressorts puissants, entraînant un barillet qui engrène sur cinq axes successifs. Le 5e de ces axes porte une roue à dents obliques engrenant sur une vis sans fin munie d'un régulateur à ailettes. Sur le 3e axe se trouve annexée une roue pleine munie de 6 saillies portant des molettes. En face de ces saillies se trouve une tige de fer montée sur un axe et oscillant comme le fléau d'une balance. La roue en tournant accroche successivement par ces saillies la tige de fer et en soulève l'extrémité. L'autre extrémité s'abaisse forcément. Or, au-dessous d'elle, se trouve la poire de caoutchouc, qu'elle comprime.

Dès que la saillie de la roue a dépassé l'extrémité de la tige de fer, celle-ci revient brusquement à l'horizontale, la poire est abandonnée et se dilate. L'effet produit par le moteur hydraulique se trouve par conséquent réalisé, et l'air est alternativement chassé et appelé dans la poire.

Notre moteur produisait 16 alternatives par minute et marchait cinq heures environ sans être remonté.

28. — Recherches sur la respiration des animaux aquatiques.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Archives de physiologie*, 1877.)

Au moyen de la méthode que nous venons de décrire, nous étudions la respiration chimique des êtres qui vivent dans l'eau.

Notre premier soin est d'étudier le *milieu respirable*, l'eau, quant à la quantité de gaz qu'elle contient dans les fleuves et dans la mer. Ces analyses, faites avec la pompe à mercure, sont d'une précision très grande L'eau de la Seine et de ses affluents, des lacs et des étangs de la France, est successivement analysée sur place.

Nous analysons ensuite l'eau de la mer dans différents parages, et nous trouvons les résultats suivants :

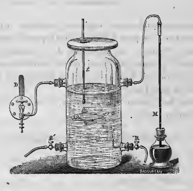
Gaz de l'eau de mer (rapportés à 1 litre d'eau).

GAZ LIBRES			CO^2 lié	OBSERVATIONS
Oxygène	Azote	Acide carbonique		
5,6	3,7	3,6	43,7	Croisic (septembre).
6,34	14,1	4,9	42,9	*Idem.*
5,7	12,9	2,1	41,5	*Idem.*
5,7	14,0	5,0	62,0	Dieppe (octobre).
4,5	12,5	9,2	35,5	Concarneau (août).
4,8	12,8	9,1	36,0	*Idem.*

Ces faits connus, nous recherchons l'action de la *température* sur la quantité des gaz dissous dans l'eau à diverses températures et sur leur influence sur l'existence des poissons. Nous trouvons que les poissons succombent à une température où ces animaux auraient encore bien assez d'oxygène dissous pour subsister.

L'influence de la *pression barométrique* est étudiée par un appareil particulier.

Un poisson est placé dans un bocal tubulé, contenant de l'eau et de l'air, et hermétiquement fermé. L'atmosphère d'air du flacon est en rapport, par un de ses orifices, avec un manomètre à mercure M, qui donnera à chaque moment la pression de l'air dans l'appareil; d'autre part, il est en rapport avec une trompe aspiratrice à eau D, permettant d'y faire un



vide partiel déterminé par l'ouverture plus ou moins grande donnée au robinet R. De cette façon, la rentrée de l'air qui règle la pression sert en même temps à maintenir normale l'aération de l'eau.

Nous avons pu, au moyen de cet appareil, répéter sur les animaux aquatiques une expérience devenue classique, que M. le professeur Bert a instituée pour les animaux aériens.

Expérience.

Un cyprin doré, du poids de 120 grammes, est placé dans l'appareil, et soumis graduellement et maintenu à une dépression constante de 62 centimètres (14 centimètres de pression réelle). L'expérience dure pendant sept heures. Le cyprin, qui est sur le flanc et offre une respiration haletante, est très souffrant et semble près de mourir.

Analyse de l'eau (1 litre) à la fin de l'expérience.

Oxygène	1,8
Azote	6,0
Acide carbonique	20,0

Expérience.

Le même cyprin ayant servi à l'expérience précédente il y a cinq jours, et parfaitement remis, est placé à nouveau dans l'appareil, contenant 4 litres d'eau de Seine, et soumis à une dépression de 55 centimètres de mercure (11 centimètres de pression réelle), mais on fait barboter dans l'eau de l'air suroxygéné, au lieu d'air normal, de façon à augmenter la proportion de l'oxygène dissous dans l'eau.

L'expérience dure pendant dix-huit heures. L'animal est bien portant et ne paraît nullement souffrir.

Analyse de l'eau (1 litre) à la fin de l'expérience.

Oxygène	2,9
Azote	4,5
Acide carbonique	31,6

Ainsi, à la condition de diminuer lentement la pression, à cause de la vessie natatoire du poisson, on voit que la dépression en elle-même est pour peu de chose dans le malaise éprouvé par l'animal; tout dépend de la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Le cyprin, en effet, dans l'expérience II, n'est point malade, et pourtant il est à une pression réelle plus faible que dans l'expérience I; seulement l'eau contient plus d'oxygène dans la seconde expérience que dans la première.

On sait que lorsqu'on laisse séjourner des poissons dans une eau aérée qui ne se renouvelle pas, ceux-ci peuvent épuiser en grande partie l'oxygène dissous, et la mort des animaux a lieu lorsqu'il n'y a plus que quelques traces de gaz dans le liquide. On peut se demander si, dans l'asphyxie des poissons dans l'eau non renouvelée, la mort est le résultat de la privation de l'oxygène seul, et si l'accumulation graduelle de l'acide carbonique dans le liquide n'y entre pas pour quelque chose.

Pour démontrer ce point, nous avons recherché à quel moment mouraient des poissons dans une eau aérée normalement, mais dans laquelle on augmentait graduellement la proportion d'acide carbonique dissous, et nous avons toujours vu que la proportion de ce gaz qui doit être dissoute dans l'eau est infiniment supérieure à celle qui peut y être contenue, au moment de la mort des poissons dans l'eau non aérée.

Expérience.

On place 2 cyprins dans 4 litres d'eau, et on fait barboter dans cette eau un double courant d'air et d'acide carbonique. Après vingt minutes de barbotage, les deux cyprins sont très malades, n'ont plus leur mode de station normale, et cinq minutes après un des poissons est mort et l'autre mourant.

On cesse alors le courant d'air et d'acide carbonique et on introduit dans le récipient vide de la pompe pneumatique à mercure 500 centimètres cubes d'eau. L'extraction et l'analyse des gaz donnent les chiffres suivants, rapportés à 1 litre :

CO^2.	306cc
Oxygène.	4,9

On voit donc que des cyprins meurent dans de l'eau aérée, et contenant une proportion normale d'oxygène (4cc,9) lorsque cette eau contient environ 30 p. 100 de gaz acide carbonique.

Nous avons répété l'expérience précédente, mais en arrêtant le courant de CO^2 et d'air au moment où les cyprins sont encore vivants, mais déjà incommodés et n'ayant plus leur mode de station normale. L'analyse de l'eau, faite alors, nous a donné par litre :

CO^2.	211cc
Oxygène	4

Les quantités d'acide carbonique libre, à l'état de dissolution dans l'eau, nécessaires pour produire l'asphyxie chez les poissons, varient dans des limites qui dépendent de causes multiples (température, rapidité de l'accumulation du gaz acide dans le milieu), et surtout des espèces animales

mises en expérience. L'oxygène, restant constant dans l'eau, si on augmente graduellement la proportion d'acide carbonique, on peut dire que les poissons sont très malades lorsqu'elle atteint 15 à 20 p. 100, et meurent lorsqu'elle monte de 20 à 30 p. 100.

De là il résulte que ce genre d'asphyxie ne doit jamais pouvoir se produire dans les conditions ordinaires (à moins de circonstances particulières qui favorisent l'accumulation de CO^2), et que toujours la mort des animaux aquatiques devra avoir lieu par privation d'oxygène, avant que le gaz acide ait pu s'accumuler dans l'eau en quantité suffisante, même pour produire des accidents.

Après avoir étudié le milieu respirable, nous avons étudié le *milieu respirant*, c'est-à-dire le sang chez les animaux aquatiques. Voici les principaux faits que nous avons constatés.

D'abord l'oxygène, l'acide carbonique et l'azote qu'on trouve dans le sang des animaux supérieurs se trouvent également dans le sang des animaux aquatiques.

Nous avons, dans quelques expériences pratiquées sur les poissons, recherché la proportion des gaz contenus normalement dans le sang veineux. Ces expériences ont été faites sur l'anguille, qui offre une artère branchiale facile à découvrir et d'une longueur suffisante pour qu'on puisse y introduire les deux extrémités d'un tube en T, de façon à ne pas interrompre la circulation et la respiration chez l'animal pendant la prise du sang, qui est faite au moyen d'une seringue graduée, par l'orifice libre du tube à trois branches.

Les résultats suivants d'une analyse des gaz du sang, dont l'extraction a été faite au moyen de la pompe pneumatique à mercure, sont rapportés à 100 centimètres cubes de sang.

Oxygène.	3,7
Azote.	2,0
Acide carbonique.	33,0

Il eût été intéressant de faire connaître comparativement la composition gazeuse du sang veineux et du sang artériel, de façon à juger de la sorte de la quantité d'oxygène gagnée, ainsi que de la quantité d'acide carbonique perdue par le sang pendant son passage au travers de l'organe respi-

ratoire branchial. Malheureusement, la difficulté qu'il y a, chez les poissons, à faire une prise de sang artériel à l'abri du contact de l'air, ne nous a pas permis d'arriver à ce résultat. Nous nous sommes donc contentés de donner la capacité respiratoire du sang chez l'anguille. Quand on agite du sang, dans un flacon rempli d'oxygène, jusqu'à ce que ce fluide en soit saturé, c'est-à-dire pendant quelques minutes, on trouve qu'il est capable d'absorber des quantités d'oxygène beaucoup plus grandes que celles qu'il contient normalement dans les vaisseaux. Dans ces conditions, le sang des poissons peut absorber des quantités de gaz oxygène qui varient entre 7 et 9 centimètres cubes pour 100 centimètres cubes de sang. Si on compare cette capacité respiratoire du sang chez les poissons à celle trouvée chez les mammifères, chez le chien, par exemple, dont le sang peut absorber de 20 à 28 centimètres cubes d'oxygène, on voit qu'elle est environ 3 à 4 fois moindre chez les premiers que chez les seconds. La différence est encore plus accentuée pour le sang des invertébrés, comme on le verra plus loin. Ces faits sont d'ailleurs en accord avec les analyses que Jones a faites chez les animaux aquatiques, analyses qui démontrent que le sang, chez ces êtres, est très pauvre en principes organiques.

Le sang des animaux invertébrés (mollusques et crustacés) est, comme on le sait depuis longtemps, un liquide incolore, si on le compare au sang des animaux vertébrés, mais susceptible de prendre, sous l'influence de l'action de l'air, certaines colorations. C'est un liquide dichroïque; examiné par lumière réfléchie, il présente une belle coloration bleue outre-mer, qui devient brunâtre quand on regarde le liquide par lumière transmise. Il est, de plus, comme beaucoup de liquides organiques, fluorescent.

Bert, dans son mémoire sur la physiologie de la seiche, a étudié le sang chez cet animal et indiqué que sa coloration bleue est en rapport avec l'absorption de l'oxygène de l'air. On ne peut la rattacher, comme l'a fait Harless, à l'action de l'acide carbonique. Les expériences que nous avons faites sur le sang des crustacés démontrent d'une manière positive que les changements de couleur du sang, chez ces animaux, sont dus à la présence ou à l'absence de l'oxygène dans le liquide, et que l'acide carbonique n'a aucune influence dans le phénomène.

Nous recueillons une certaine quantité de sang de crabe, que nous agitons dans un flacon avec de l'oxygène ou de l'air, et nous remarquons que

le liquide offre une belle coloration bleue ou brunâtre, suivant la façon dont on l'examine. Faisant alors le vide dans le flacon, de manière à soustraire les gaz, on voit que, à mesure que ceux-ci s'échappent du sang, ce liquide perd peu à peu sa couleur pour prendre une teinte rosée légèrement jaunâtre. On laisse ensuite rentrer dans le flacon de l'oxygène pur, et le sang reprend sa coloration première. L'hydrosulfite de soude, qui a la propriété d'enlever l'oxygène dans les liquides qui en contiennent, produit les mêmes effets que le vide sur le sang, qui peut ensuite recouvrer sa coloration par l'agitation à l'air.

Du sang de crabe privé d'oxygène conserve sa coloration rosée quand on y fait barboter de l'acide carbonique pur, tandis que le même sang chargé de gaz acide redevient bleuâtre si on l'acide quelques instants avec de l'oxygène.

Si on traite le sang des crustacés par l'éther en excès et si on laisse reposer jusqu'au lendemain dans la glace, on voit qu'il s'est formé deux couches, l'une supérieure, formant un magma jaunâtre dans lequel on pourrait reconnaître peut-être une cristallisation confuse, l'autre inférieure, limpide et transparente, renfermant toute la matière colorante bleue du sang. Ce liquide décanté offre une teinte bleue azurée très intense et se comporte, au point de vue des changements de couleur sous les diverses influences que nous avons signalées, comme le sang lui-même.

Nous avons recherché si dans l'examen spectroscopique on ne trouverait pas quelque caractère distinctif entre le sang oxygéné et le sang privé de gaz; nous n'avons reconnu aucune différence essentielle dans l'un et l'autre cas.

Nos extractions et nos analyses des gaz du sang chez quelques crustacés nous ont fourni des résultats qui méritent d'être signalés.

Chez l'écrevisse (*Astacus fluviatilis*), nous avons examiné les gaz contenus dans le sang, sans que celui-ci ait subi le contact de l'air. Les chiffres suivants sont, comme toujours, rapportés à 100 centimètres cubes de sang.

Acide carbonique.	10,5
Oxygène.	2,5
Azote.	1,7

La recherche du plus grand volume d'oxygène absorbé par le sang des

mêmes animaux et par le sang d'autres crustacés a fourni les résultats qui suivent :

GAZ	ÉCREVISSES	CRABES ENRAGÉS		CRABE-TOURTEAU	
Acide carbonique	12,7	36,4	52,4	11,2	10,8
Oxygène	3,5	3,0	3,2	2,4	4,4
Azote.	2,0	2,5	0,8	2,7	1,2
Azote carbonique combiné.	237,0	280,0	48,0	6,6	2,8

Deux points particuliers ressortent des analyses précédentes. Le premier, que nous signalons en passant puisqu'il n'a pas de rapport avec notre sujet d'études, c'est la très forte proportion d'acide carbonique combiné (plus du double du volume du sang) qui existe dans le sang des écrevisses et des crabes à certaines époques. Cet acide carbonique se trouve sous forme de carbonate calcaire, lequel sert à la production des corps désignés sous le nom d'yeux d'écrevisses et qui se montrent à l'époque de la mue chez ces animaux.

Mais le point sur lequel il est surtout nécessaire d'insister, c'est la très faible proportion d'oxygène que le sang de ces invertébrés contient et est capable d'absorber.

Tous ces points étant élucidés, à la suite de longues recherches effectuées au laboratoire de Concarneau, nous avons fixé le taux respiratoire de chaque espèce.

Nous ne pouvons que donner une idée, sous forme de tableau, de cette partie très développée dans notre mémoire.

	CO^2	O	$\frac{CO^2}{O}$
Actinies.	54	55	0,99
Astéries.	25,4	31,5	0,80
Huîtres.	10,7	13,4	0,80
Moules.	9,6	12,4	0,77
Palourdes.	12,6	15	0,84
Poulpe.	40	46	0,86
Langouste.	49	55	0,89

	CO^2	O	$\frac{CO^2}{O}$
Homard.	54	67	0,80
Crabe.	87	107	0,81
Crevettes.	108	124	0,83
Syngnathes.	74	89	0,83
Squale.	45,9	55	0,83
Sole.	55	70,4	0,78
Torpille.	33	54	0,61
Congre.	33	43	0,76
Grondin.	67	92	0,71
Dorade.	93	142	0,65
Mulet.	109	133	0,81

Conclusions. — Pour étudier la respiration des animaux aquatiques, la condition essentielle, indispensable, à laquelle on doit satisfaire tout d'abord, c'est que les êtres soient maintenus, pendant toute la durée de l'expérience, dans des conditions physiologiques aussi normales que possible. L'appareil que nous avons imaginé et décrit réalise complètement cette condition.

Les animaux à respiration aquatique, destinés à vivre dans un milieu très pauvre en oxygène et ayant, d'autre part, un fluide sanguin dont la capacité respiratoire est très faible, sont de tous les êtres ceux dont la respiration offre l'activité la moins considérable.

Dans l'acte de la respiration libre et naturelle, l'oxygène qui disparaît n'est pas exactement représenté par l'oxygène contenu dans l'acide carbonique produit, toujours le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est plus petit que l'unité, c'est-à-dire que les animaux aquatiques, placés dans les conditions normales de leur existence, ne rendent jamais plus d'acide carbonique qu'ils n'absorbent d'oxygène. Si, dans des expériences sur la respiration des poissons, quelques physiologistes ont trouvé un volume d'acide carbonique supérieur au volume de l'oxygène absorbé, cela tient à ce que les animaux se trouvaient placés dans un milieu confiné, dont ils épuisaient graduellement l'oxygène (asphyxie dans l'eau aérée non renouvelée), et qui par conséquent n'était plus normal et respirable.

Comme chez tous les animaux à température variable, les variations

thermiques ambiantes ont, chez les êtres aquatiques, une influence considérable sur l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration. En prenant comme limites extrêmes compatibles avec la vie, la température de 2° et de 30° du milieu extérieur, les quantités d'oxygène absorbées varieront, toutes choses égales d'ailleurs, dans le rapport de 1 à 10, au minimum.

Parmi les autres causes qui peuvent influer sur l'activité de la respiration, en dehors des conditions relatives à l'espèce, les plus importantes, après la température, sont l'état de jeûne et de digestion, la taille, l'état d'activité musculaire plus ou moins grande des animaux.

Nos expériences nous ont donné, tantôt un faible dégagement d'azote, quelquefois une absorption. Mais nous ne pouvons actuellement répondre de ce point de la respiration, parce que les déterminations relatives à l'azote sont dans la limite des erreurs d'expériences, à cause de la faiblesse respiratoire des êtres à sang froid. Chez la plupart des poissons, une autre cause d'erreur peut provenir des changements survenus dans la composition gazeuse de la vessie natatoire.

L'Académie des sciences a récompensé ce mémoire, par une mention très honorable en 1877.

29. — Étude sur la respiration intestinale du *Cobitis fossilis*.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1887.)

Depuis longtemps on connaît la particularité offerte par le *Cobitis fossilis* d'avaler de l'air par la bouche pour le rejeter par l'anus, après l'avoir dépouillé d'une quantité plus ou moins grande d'oxygène. Ermann, qui le premier a fait à ce sujet d'intéressantes observations, a montré que cette sorte de respiration intestinale surajoutée est suffisante, même pour entretenir la vie de ces poissons.

Ayant eu un certain nombre de *Cobitis* à notre disposition, nous avons cru devoir reprendre l'étude de la respiration de ces êtres pour la préciser davantage.

Nous avons d'abord, au moyen de notre méthode pour l'étude de la res-

piration des animaux aquatiques, déterminé les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé dans l'acte respiratoire normal (respiration branchiale et intestinale simultanément) par les *Cobitis fossilis*.

6 de ces animaux, pesant ensemble 95 grammes, furent placés dans notre appareil et y séjournèrent soixante-dix heures par une température qui a varié entre 17° et 22°.

Les résultats de l'expérience ont été les suivants :

Volume de l'oxygène consommé.	579cc,8
Volume de l'acide carbonique exhalé.	454 4
Volume de l'azote exhalé.	8 3
Rapport entre le volume de l'oxygène contenu dans l'acide carbonique exhalé et le volume de l'oxygène consommé.	0 78
Volume de l'oxygène consommé par heure et par kilogramme d'animal.	86 3

Dans une autre série d'expériences, nous avons recherché dans quel rapport se trouvent entre elles la respiration intestinale et la respiration branchiale du *Cobitis*. Nous avons trouvé que la quantité d'oxygène de l'air absorbé par l'intestin est environ moitié moindre que celle absorbée par les branchies. Ainsi, sur les 86cc,3 d'oxygène absorbés par heure et par kilogramme de poisson, dans la respiration complète, 27cc,9 le sont par la muqueuse intestinale et 58cc,4 par les branchies.

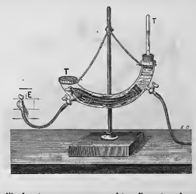
Quant à l'acide carbonique rendu, comme Baumert et Bischoff l'avaient déjà indiqué, il est excrété presque en totalité par les branchies, 5 centimètres cubes seulement s'en allant par l'autre voie.

L'analyse des gaz rendus par l'anus nous a montré que l'air était moins dépouillé d'oxygène que ne l'avaient indiqué les observateurs précédemment cités. Nous avons trouvé qu'il contenait de 15 à 18 p. 100 d'oxygène.

Ermann ayant montré que l'oxygène absorbé par l'intestin pouvait suffire aux besoins de la respiration, nous avons fait la contre-épreuve et nous avons vu que l'on peut supprimer ce mode de respiration, sans danger pour l'animal, au moins pendant un temps assez long (vingt-quatre heures et plus).

Un *Cobitis* est placé dans un appareil traversé par un courant d'eau aérée, et disposé de telle façon que l'animal peut avaler à volonté le gaz qui est

au-dessus de l'eau, pour l'expulser d'autre part dans un tube gradué. Le gaz qui surnage étant de l'hydrogène pur, l'animal peut vivre dans ces conditions, sans inconvénient, comme lorsqu'il est maintenu sous l'eau aérée. Nous avons observé, de plus, ce fait intéressant : c'est que le poisson semble en quelque sorte avoir conscience de l'inutilité, dans ce cas, de sa respiration intestinale, et au lieu de rejeter par l'anus 8 centimètres cubes de gaz par heure, comme il le ferait en avalant l'air ordinaire, il n'expulse plus que 1 centimètre cube d'hydrogène environ dans le même temps. Si on remplace



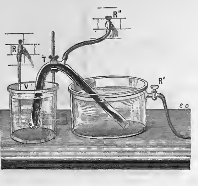
l'atmosphère d'hydrogène par une atmosphère d'oxygène, les autres conditions restant les mêmes, on voit que la quantité de gaz rendue par l'anus est également diminuée et varie entre 5 et 6 centimètres cubes à l'heure. Dans le premier cas, l'atmosphère étant inerte, l'animal, pour suppléer à la respiration intestinale suspendue, augmente le nombre des mouvements respiratoires des ouïes ; dans le deuxième cas, les deux modes respiratoires se ralentissent simultanément, l'oxygène pénétrant dans le sang par la muqueuse intestinale en quantité plus considérable.

En sorte que, chez le *Cobitis fossilis*, pour ce qui est de l'absorption de l'oxygène, la respiration intestinale et la respiration branchiale peuvent se suppléer l'une l'autre ; mais la respiration branchiale est toujours nécessaire pour l'excrétion de l'acide carbonique.

30. — De l'excrétion des carbonates par les branchies.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Les poissons respirent non seulement en rejetant de l'acide carbonique dissous dans l'eau, mais encore en laissant diffuser à travers leurs branchies les bicarbonates de leur sang. On le prouve en dosant les carbonates dans l'eau pure, puis dans l'eau où a vécu un poisson à diverses températures. On



voit les carbonates croître avec la température exactement comme l'absorption de l'oxygène. En faisant vivre une anguille dans un tube en V renversé, si bien que sa tête est dans un vase d'eau et son corps dans un autre, on voit les carbonates augmentés dans le vase où est la tête, et par conséquent où sont les branchies, tandis qu'ils n'ont pas varié du côté de la queue.

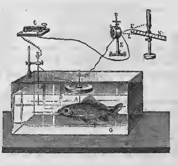
31. — Sur la température des animaux immergés dans l'eau.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

Un très grand nombre de naturalistes ont cherché de combien la température des animaux immergés dépassait celle de l'eau dans laquelle ils

vivent. Ils opéraient au moyen de thermomètres et les uns constataient un excès de température, les autres une diminution, les autres l'égalité. Les recherches que nous avons faites par la méthode thermo-électrique confirment absolument la manière de dire de ces derniers.

Un Poisson est placé dans un aquarium G. Il y vit plusieurs jours avant l'expérience, afin d'être bien exactement à la température de son milieu. Au moment d'opérer, on le saisit avec une épuisette et, sans le sortir de l'eau, ni le toucher avec les doigts, on le transfixe avec une aiguille thermo-électrique munie d'un ardillon d'hameçon, de telle sorte qu'elle ne puisse



se retirer du corps. Le Poisson s'agite d'abord beaucoup, puis il se calme et se met à nager tranquillement.

L'aiguille traverse un flotteur en liège, elle suit donc l'animal dans tous ses mouvements.

L'aiguille témoin A' est tenue fixée par un support et elle plonge dans l'eau de l'aquarium. Bien qu'elle soit du système de d'Arsonval, nous la vernissons pour plus de précaution. Le couple thermo-électrique est en rapport avec un galvanomètre des plus sensibles sur le miroir duquel un rayon lumineux L, L' tombe et se réfléchit.

En C se trouve une clef coupe-courant. Quand l'animal est bien tranquille on ferme cette clef.

S'il y a un cinquantième de degré de différence entre les soudures

des aiguilles d'Arsonval, le miroir quitte très sensiblement le 0°. Or, dans aucune de nos expériences, nous n'avons observé la plus légère déviation; nous nous rangeons donc à l'opinion de Dutrochet et de Humboldt et Provensal; pour nous, les animaux aquatiques ont la même température que le milieu ambiant. Ils produisent à coup sûr de la chaleur, mais ils la restituent immédiatement au milieu ambiant dont la chaleur spécifique est énorme.

32. — Action statique de la vessie natatoire des poissons.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895).

Les poissons dorment horizontalement dans l'eau. On a déduit de cette constatation que leur vessie natatoire est située sur un plan tel de leur corps, qu'elle facilite le décubitus ventral. C'est là une de ces déductions *a priori* qui trompent toujours quand on ne les confirme pas par l'expérience.

Coupons, par exemple, toutes les nageoires à une Ablette; nous voyons de suite l'animal arriver à la surface de l'eau, le ventre en l'air, comme s'il était mort, et il ne peut plus se tirer de cette situation anormale.

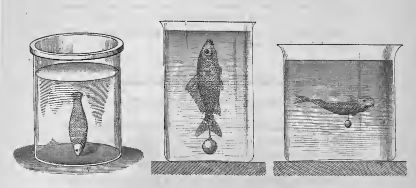
Répétons la même opération sur une Carpe. Celle-là tombe au fond, la tête la première, et demeure immobile. Elle dormira ainsi et elle demeurera la tête en bas *pendant des mois* jusqu'à ce que ses nageoires aient repoussé.

Cette différence d'attitude tient à ce que, chez l'Ablette, la vessie aérienne est située au-dessous du centre de gravité et à ce que, chez la Carpe, elle est plus près de la queue que de la tête, c'est-à-dire en arrière du plan vertical médian du corps.

Beaucoup de Poissons ont une vessie natatoire cloisonnée en deux parties, l'une antérieure, l'autre postérieure. Un pertuis, que des fibres musculaires peuvent resserrer et fermer, sépare en deux cette sorte de bissac. D'après Monnoyer, les fibres musculaires que nous avons constatées sur la surface de la vessie serviraient à chasser d'un sac dans l'autre, subitement, une certaine quantité de gaz, ce qui changerait l'équilibration de l'animal. Quand il expulserait l'air dans sa poche vésicale antérieure, cela dirigerait sa tête en haut et, en agitant ses nageoires, il monterait. Le jeu

inverse élèverait sa queue et l'aetion directe de ses nageoires le ferait descendre.

Coupons la nageoire caudale à un Gardon. L'animal se met à nager, tombe la tête en bas et la queue en l'air, mais au bout de quelque temps, il reprend sa position primitive parfaitement horizontale. Pour Monnoyer, il a fait passer du gaz de la poche postérieure à la poche antérieure de sa vessie. Je n'ai jamais vu cela se produire sur les Carpes : elles demeuraient des mois entiers déséquilibrées.



Il faut d'ailleurs un déplacement très petit du centre de gravité pour que le poisson perde son équilibre.

Une Carpe pèse 125 grammes. On lui attache à la queue un poids de 2 grammes, soit la soixante-deuxième partie de son corps. Elle s'agite d'abord violemment, puis elle prend la position verticale, et elle ne la quitte plus. En peu de temps tous ses efforts sont devenus impuissants à l'en tirer. En mettant le poids à la bouche, on obtient une position absolument inverse.

Cette expérience étant terminée, on prend la même Carpe et on lui attache sur le dos, avec un hameçon, un poids en cuivre de 20 grammes. Ce poids tombe naturellement sur l'un des flancs du Poisson, qu'il tend à renverser de ce côté. Nous voyons alors l'animal se pencher dans le sens où

le poids l'entraîne, puis pour n'être pas renversé, il se met à nager vivement de ses nageoires pectorales et ventrales de ce côté, pendant que celles de l'autre côté sont étendues simplement et immobiles.

Mais bientôt ses efforts ne suffisent plus, il tombe sur le flanc, et, remuant vivement sa nageoire caudale, il se met à nager à la façon d'un Poisson plat. Finalement, épuisé de fatigue, il tombe au fond et cesse tout mouvement.

Cette suite d'expériences nous montre que le poisson est exactement équilibré dans le plan horizontal. Il m'a été donné tout récemment de pêcher un poisson tout à fait déséquilibré et qui ne pouvait fuir. Un crustacé parasite qui ne pesait probablement pas deux grammes était attaché à l'une de ses ouïes.

33. — Action des très basses températures sur les animaux aquatiques.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

Nous nous demandons dans cette note si le fait de la congélation subite et totale des cours d'eau, comme on l'observe quelquefois dans les pays du nord, est la cause de la mort fatale de tous leurs habitants. Nous arrivons à une conviction inverse par l'expérience suivante.

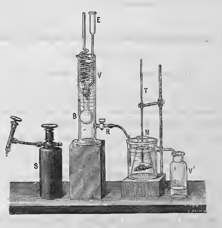
Il est facile d'acclimater un poisson à vivre dans l'eau saline, surtout dans le sulfate de magnésie. Un tel animal peut être porté au-dessous de 0°, car l'eau magnésienne pourra être tellement chargée de sel qu'elle ne se gèlera qu'à — 3° ou — 4° exactement comme l'eau polaire. L'animal pourra donc être considérablement abaissé sans être pris dans la glace et il sera possible de l'observer.

Nous avons, pour cette expérience, construit l'appareil dont voici la description.

En N se trouve un vase dans lequel on a mis de l'eau contenant 2 1/2 pour 100 de sulfate de magnésie et de plus une Carpe depuis longtemps habituée à vivre dans un tel milieu. Un thermomètre T plonge dans le liquide et en donne à tout instant la température. Autour de ce vase s'en trouve un autre dans lequel circule une solution très concentrée de chlorure de calcium : on arrive à refroidir cette solution par le mécanisme que voici.

Elle est placée dans une grande éprouvette V qui peut la déverser par le robinet R. Dans cette éprouvette baigne un ballon B terminé en même temps par un serpentin de verre et par un entonnoir E.

On verse dans l'entonnoir E du chlorure de méthyle contenu dans le siphon S. Ce liquide, en passant à l'état gazeux, peut produire, comme on sait, une température s'abaissant jusqu'à — 40°. Notre artifice permet donc très facilement d'abaisser la solution de chlorure de calcium à — 3°.



Les choses étant ainsi disposées, on amène l'eau froide autour du vase N où la température diminue rapidement; dès qu'elle arrive vers 0° le Poisson semble s'endormir, il ne fait plus mouvoir ses nageoires, non plus que ses ouïes qui n'ont que de faibles battements.

A — 2° l'animal semble totalement endormi, mais il n'est pas congelé; à — 3°, il est en état de mort apparente; mais encore parfaitement souple. Si on laisse la température remonter lentement il se réveille, se met à nager et semble n'avoir nullement souffert. C'est pour nous la preuve que les mers polaires qui ne descendent jamais au-dessous de 3° peuvent parfaitement

receler des animaux vivants et acclimatés à cette basse température. Au moment où l'eau salée se prend en glace, dans notre expérience, l'animal meurt à coup sûr. Mais il est impossible de mettre cela sur le compte de la température. En effet au moment de la prise en masse du liquide, le sulfate de magnésie n'entre pas dans la composition de la glace, il demeure tout entier dans la partie qui reste liquide; de ce fait le malheureux poisson se trouve instantanément plongé dans une solution saline concentrée et c'est à cette circonstance qu'il doit de succomber.

34. — Phénomènes chimiques de la respiration chez les hirudinées.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Les hirudinées ne prenant de nourriture que très rarement, il était à prévoir que cet acte aurait sur l'intensité de leur respiration une influence considérable. C'est ce que démontre notre expérience.

Un kilogramme de sangsue à jeun produit : CO^2 : 18,4, absorbe O : 24,2;

en digestion : CO^2 : 39,7 — O : 43.

$\frac{CO^2}{O}$ à jeun = 0,689; en digestion : 0,902.

35. — Note sur la présence de l'hémoglobine dans le sang des crustacés branchiopodes.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

Nous avons examiné la substance rouge que l'on rencontre dans le sang de l'*Apus productus*. Pour nous, c'est de l'hémoglobine. Elle donne au spectroscope les mêmes bandes d'absorption; le sulfhydrate d'ammoniaque la réduit.

L'oxyde de carbone l'empêche enfin d'absorber l'oxygène.

36. — Respiration du *Gammarus pulex*.

(En commun avec M. JOLYET.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

En ramenant le produit des combustions à ce qu'aurait produit un kilogramme d'animal dans l'unité de temps, on voit que l'intensité des phénomènes respiratoires est très grande chez le *Gammarus pulex*.

CO^2 produit.	95^{cc}
O absorbé.	131

$$\text{Rapport } \frac{CO^2}{O} = 0{,}72.$$

37. — Sur le résultat de l'immersion d'un poisson dans une solution faible de chlorhydrate de cocaïne.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Si on met un poisson dans une solution au deux-millième de cocaïne, il tombe inanimé. Pour tout le monde il est mort; si on le place dans l'eau pure à ce moment, il se réveille après quelques heures.

Pendant sa mort apparente, il n'a nullement respiré, l'analyse chimique le démontre.

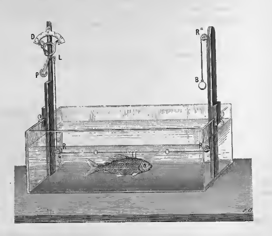
Il se passe là une anesthésie des nerfs des branchies et une absence des réflexes respiratoires, d'où absence des mouvements des ouïes et de la bouche.

38. — Dynamomètre permettant de mesurer la puissance musculaire de l'appareil caudal d'un poisson.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

J'ai cherché comment, au point de vue de la force produite, le Poisson utilisait la puissance de déplacement que lui donne son appareil caudal.

Voici l'appareil que j'ai combiné pour cette étude. Aux deux bouts d'un grand aquarium sont fixés deux supports en bois. A l'extrémité de l'un se trouve un dynamomètre D gradué en grammes expérimentalement. Du levier de ce dynamomètre part un fil L qui, plongé d'abord dans l'eau, se réfléchit sur les deux poulies R R', puis sur la poulie R″ et porte finalement le contrepoids B qui le tient tendu; c'est sur le trajet horizontal de



ce fil que nous attachons un gros Cyprin ou une Carpe, au moyen de deux hameçons piqués en avant de sa nageoire dorsale.

En procédant de cette manière avec une Carpe de 90 grammes nous voyons que, quand elle essaye de nager doucement, elle entraîne 25 grammes : le quart environ de son poids; si nous lui faisons faire de violents efforts de fuite, elle arrivera à enlever 170 grammes; presque le double de son propre poids.

Coupons-lui alors toutes les nageoires, sauf la caudale, c'est à peine si nous observons un changement dans sa force. Si, au contraire, nous supprimons cette dernière en laissant les autres sur un Poisson du même

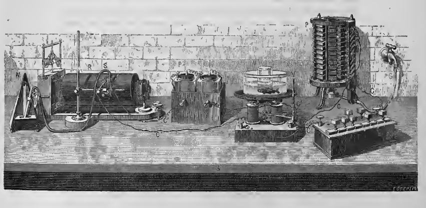
poids, nous ne le verrons pas développer une puissance de plus de 35 grammes dans ses plus grands efforts.

Il y aurait intérêt à suivre cette étude sur un grand nombre d'animaux : nous le ferons quelque jour.

39. — Sur un dispositif permettant de mesurer la vitesse de translation d'un poisson qui se meut dans l'eau.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1893.)

Quelle est la vitesse que peut développer un Poisson qui se meut librement dans l'eau? La solution était difficile à obtenir : le Poisson, en effet, doit conserver la liberté absolue de ses mouvements, faute de quoi sa vitesse sera certainement diminuée.



Voici comment nous avons cherché à vaincre la difficulté. Un plateau tournant est mû par un moteur électrique animé par une pile thermo-électrique très régulière P. Le courant de cette pile est au préalable obligé de traverser une boîte de résistance qui permet de l'augmenter ou de le diminuer et par suite de faire varier la rapidité de rotation du disque.

Sur celui-ci se trouve un vase V plein d'eau, au centre duquel s'en trouve un autre V' : de sorte qu'entre les deux existe un couloir circulaire dans lequel le poisson se meut librement.

Chaque fois que le disque fait un tour, il établit un contact qui ferme le courant d'une pile P', sur un signal de Deprez, lequel écrit sur un cylindre tournant R. Sur ce même cylindre un métronome M enregistre les secondes, grâce à un tambour de Marey S.

On a donc en même temps enregistré sur le cylindre : 1° le nombre de tours effectués par le plateau tournant; 2° le nombre de secondes pendant lequel le plateau a tourné.

Ceci dit, voici comment on procède : on place le poisson en V et on met le disque en mouvement; l'animal se met aussitôt à nager à contre-courant. On augmente la vitesse du disque jusqu'à ce que le poisson, faisant son maximum d'effort, demeure immobile tout en nageant. On dit alors que sa vitesse est juste égale à celle du disque qui tourne en sens inverse de lui. Or, en lisant sur le cylindre, on y trouve inscrite la vitesse du disque et par suite celle du Poisson, puisque connaissant la circonférence du disque tournant on connaît le chemin parcouru en le multipliant par le nombre de tours. — Examinons les résultats donnés par l'instrument :

Une Carpe de 6 grammes fait 59 centimètres à la seconde.

Une Carpe de 5 grammes fait 52 centimètres à la seconde.

Une autre Carpe de 5 grammes fait 52 centimètres à la seconde.

Une Ablette de 1 gramme fait 50 centimètres à la seconde.

Un Chevaine de 15 grammes fait 24 centimètres à la seconde.

Mais à cause de sa taille ce dernier était peut-être gêné dans l'appareil.

La méthode va nous permettre de tenir compte de l'influence de la fatigue.

L'Ablette qui faisait 50 centimètres à la seconde n'en fait que 32 après une course forcée de 5 minutes et 16 après 15 minutes de fatigue.

40. — Recherches expérimentales sur les conditions physiques de la vie dans les eaux.

(Un vol. grand in-8 de 500 pages, Masson, Paris, 1891.)

Ce travail de longue haleine est le résumé des recherches de physique

biologique que nous avons faites pendant près de dix années et de conférences que nous avons données dans plusieurs villes de France et à Paris pour le compte de l'Association Française ou à la Sorbonne. Notre but, dans cet ouvrage, a été de rechercher les modifications que l'habitat aquatique imprimait à la vie.

Notre premier chapitre est destiné à montrer combien sont nombreux les êtres qui habitent les eaux de la mer. Puis nous avons résumé rapidement l'histoire des grandes expéditions qui ont démontré que les abîmes étaient au moins aussi peuplés que la surface. Nous décrivons soigneusement les nouveaux engins qui ont récemment servi aux pêches de profondeur dans les expéditions du *Challenger*, du *Talisman* et de l'*Hirondelle* et particulièrement les appareils d'éclairage des profondeurs que nous avons spécialement imaginés pour les nasses du prince de Monaco.

Après un court exposé de la biologie du fond des mers et des eaux douces, nous arrivons à notre sujet principal, à l'influence des agents physiques.

La pesanteur est tout d'abord notre préoccupation, et par une longue étude des méthodes de sondage nous cherchons dans quelles limites elle est capable d'agir sur les animaux qui supportent les grandes pressions du fond de l'Océan.

Les accidents produits par les hautes pressions, nous les reproduisons dans le laboratoire même au moyen de tout un matériel qui nous permet de soumettre des êtres vivants jusqu'à 1000 atmosphères. Les ferments, les plantes, les tissus séparés, les animaux entiers ont été soumis à ce traitement. Nous ne développons pas cette partie de nos recherches, le lecteur en trouvera une notion suffisante dans l'analyse des présentations séparées que nous avons faites à la Société de biologie.

L'étude de la lumière nous occupe ensuite et nous commençons par diverses méthodes à mesurer sa pénétration dans les eaux, nous mesurons son intensité, nous recherchons les radiations qui vont le plus loin dans les profondeurs.

Ceci nous amène à mesurer la quantité de chlorophylle qui se forme à diverses profondeurs et en même temps la quantité d'acide carbonique qui se décompose sous l'influence des radiations rouges.

Une étude de la lumière eût été incomplète sans une étude de la vision,

nous examinons donc les modifications que la vie dans l'eau amène dans l'appareil optique de l'œil.

La chaleur vient ensuite et nous la mesurons à la surface et dans les grands fonds, puis nous appliquons notre étude à la vie. Quelle est la température des êtres immergés, quel maximum et quel minimum de température peuvent-ils supporter, quelles brusques variations leur sont fatales?

Le milieu respirable est formé par les gaz de l'air dissous dans l'eau : il nous faut les extraire et les analyser, non seulement à terre mais à bord des navires. Nous faisons connaître les méthodes qui permettent d'y arriver, puis les résultats qu'elles donnent. Ceci nous conduit à une longue étude de la respiration aquatique et des circonstances qui influent sur elle. Nous avons dû imaginer et construire tout un matériel spécial pour exécuter à Paris et au bord de l'Océan ce très long travail. Les variations de la salinité et leur action sur les êtres marins, la motilité dans l'eau et son examen au point de vue mécanique terminent notre livre, qui constitue l'exposé de la physiologie spéciale et à peu près complète des êtres qui vivent dans l'eau.

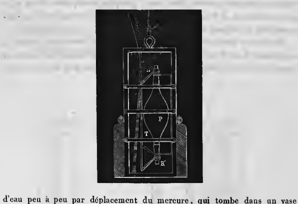
41. — Sur un dispositif permettant de puiser l'eau à des profondeurs faibles pour l'analyse des gaz dissous dans la mer.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Archives de physiologie,* 1877.)

Notre appareil se compose d'une forte pipette ovoïde, à robinets de fer, de 1 litre 1/2 de capacité, laquelle pipette est fixée dans une cage métallique lestée par deux lourds saumons de plomb. Les clefs des robinets R, R' sont reliées entre elles par une tige articulée T, de manière à former un système de robinets conjugués, s'ouvrant et se fermant simultanément. Un ressort à boudin fixé d'une part à l'articulation de la clef supérieure, et d'autre part à la cage métallique en bas, maintient les robinets dans leur position fermée (cette disposition est représentée sur la figure par le trait continu). Une traction exercée sur une cordelette fixée à l'articulation d'en haut permet d'amener les robinets dans la position d'ouverture (ligne ponctuée sur la figure). Cela dit, veut-on prendre de l'eau du fond, on remplit la

pipette d'un liquide dense non miscible à l'eau (mercure) et on descend l'appareil, retenu par un cordage, à la profondeur voulue. Tirant alors sur la cordelette, on ouvre les deux robinets de la pipette, qui se remplit



d'eau peu à peu par déplacement du mercure, qui tombe dans un vase placé sous R' et non figuré. Quand on juge la pipette remplie, on cesse la traction, le ressort ramène les robinets dans la position fermée. Il ne reste plus qu'à retirer l'appareil avec sa pipette remplie de l'eau d'une profondeur determinée.

42. — Sur une bouteille destinée à recueillir l'eau des grands fonds.

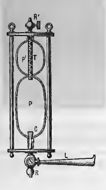
(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1893.)

Toutes les fois qu'on a voulu se procurer l'eau des grands fonds de la mer on s'est servi de bouteilles de fer qu'on envoyait avec un fil d'acier tout ouvertes par en haut et par en bas. On les fermait au moment voulu avec un messager annulaire. On supposait que dans le trajet l'eau s'était renouvelée dans l'appareil et que ce n'était pas celle de la surface que l'on ramenait.

Je ne suis pas très rassuré sur la qualité de l'eau que peuvent contenir ces bouteilles ouvertes par les deux bouts dans lesquelles le liquide est

censé se renouveler par le simple fait de la descente. Il peut fort bien ne se renouveler qu'incomplètement et l'eau que l'on ramène des grands fonds pourrait bien être, en partie, de l'eau qu'on y a menée de la surface. Ensuite tous ces robinets peuvent bien tenir quelques atmosphères. Mais si la pression des gaz se dégageant est très grande, il est certain qu'ils les laisseront fuir. Je propose donc l'appareil suivant.

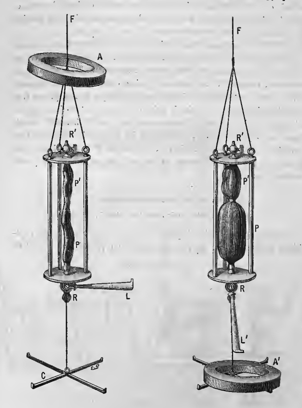
Entre deux forts plateaux de bronze se trouvent fixés deux ballons de caoutchouc. L'un P est en caoutchouc très épais et quand on l'écrase il reprend vivement sa forme. L'autre P′ est au contraire très mince, s'écrase



facilement et ne revient pas sur lui-même. Le ballon P se termine à sa partie inférieure par un gros robinet R dont la clef est mue par le grand levier L. Le petit ballon P′ est terminé par un robinet R′; de plus les deux ballons sont en communication par un tube d'ébonite T percé de nombreux trous. Enfin, au robinet R, et dans l'intérieur du ballon P, se trouve adaptée une soupape en caoutchouc de Denayrouse. On sait que sous les pressions les plus formidables ces soupapes tiennent d'autant plus qu'elles sont plus pressées.

L'appareil étant ainsi disposé, on commence par fermer le robinet R, puis on adapte le robinet R′ à la machine pneumatique à mercure qui fait partie, comme on va le voir bientôt, de notre appareil d'analyse. En un coup

de pompe, le vide est fait dans les deux ballons *dont les parois s'appliquent*



énergiquement l'une contre l'autre. On ferme le robinet R', la bouteille de caoutchouc ne contient par conséquent absolument rien.

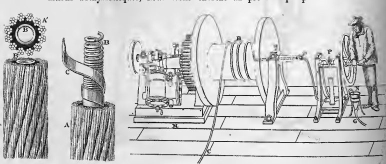
On la suspend alors au fil de sonde F et on la descend dans la mer. Quand on est arrivé au point voulu, on envoie du bord l'anneau de fonte A qui passe autour de la bouteille, s'accroche au levier L et l'abaisse brusquement; la bouteille est ouverte.

Le ballon P, en caoutchouc épais, se dilate violemment et se remplit complètement d'eau, P' au contraire reste flasque. On remonte alors l'appareil, et si l'eau contenue en P augmente de volume, si elle dégage des gaz abondants, tout cela va se loger en P' qui se distend au fur et à mesure des besoins. Il est entendu qu'à la remontée le clapet de Denayrouse C se ferme énergiquement par le simple poids de l'eau qui est au-dessus; je me suis assuré qu'il tenait en effet absolument. On a pesé la bouteille avant le départ, on la pèse au retour, la différence des deux poids représente l'eau ramenée, on ferme alors le robinet R, on abouche R' avec le ballon vide de notre appareil d'analyse; eau et gaz qui ont pu se dégager y sont entraînés d'un seul coup.

43. — La pêche au câble creux.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1893.)

Dans notre préoccupation de perfectionner le matériel destiné aux expéditions bathymétriques, nous avons cherché un procédé qui permît de



ramener les animaux microscopiques, ferments, voire les microbes qui peuplent les eaux profondes.

Tous les appareils en usage jusqu'à présent ont été insuffisants pour les recueillir. Nous avons pensé qu'on pourrait remplacer par un tube spiral l'âme de chanvre que l'on met au milieu des câbles d'acier des chaluts, et qu'il serait possible de pomper par ce long tube de grandes quantités d'eau dont on concentrerait les organismes inclus en les déversant au fur et à mesure sur une chausse en feutre. La pompe n'a en somme à vaincre que la différence de pression de quelques mètres qui résulte de la différence de niveau entre le pont et la surface de la mer.

Le câble creux a été construit par la Corderie Centrale.

44. — Sur une pompe à roulis permettant d'effectuer à bord d'un navire l'analyse des gaz dissous dans l'eau.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1893.)

Il est reconnu aujourd'hui que la pompe à mercure est le seul appareil qui permette d'extraire complètement les gaz contenus dans l'eau et particulièrement l'acide carbonique, il y aurait grand intérêt à s'en servir désormais dans les expéditions maritimes océanographiques.

Seulement, l'appareil ordinaire peut bien fonctionner à terre, mais il serait tout à fait imprudent de l'installer à bord d'un navire. Le roulis le mettrait de suite hors d'usage. Le mercure se renverserait sans cesse; de plus, le baromètre se penchant à chaque inclinaison du navire, le mercure ferait bélier et viendrait choquer sur le robinet à trois voies qui, étant en verre, serait brisé du premier coup.

Nous avons donc dû faire une modification à la pompe de façon à la rendre très portative et même pratique à bord d'un navire.

Une grande barre de fer, de la grosseur du doigt, est attachée au plafond de la cabine où l'on opère; elle est terminée par un poids G, assez lourd (20 kil.), elle oscille donc en même temps que le bateau, mais très lentement. Une planche est fixée vers son milieu et sur cette planche se trouve tout le mécanisme de la pompe, c'est-à-dire la chambre barométrique R, la cuvette r et le tube gradué T. Un petit robinet, terminé par le tube de caoutchouc L, permet de vider l'excès de mercure de la cuvette quand celle-ci se trouve un peu trop pleine. Le robinet à trois voies est supprimé, il est

remplacé par deux pinces en fer PP′ qui saisissent des tubes de caoutchouc à vide, et les ferment ou les ouvrent suivant qu'on veut mettre le baromètre en communication avec la cuvette ou avec le ballon analyseur. Cette disposition est très bonne, elle reproduit l'effet du robinet à trois voies et n'est nullement fragile comme lui : de plus tout accident, qui avec le robinet en verre est irréparable à bord, se répare au contraire en quelques minutes avec les caoutchoucs pressés. Le vide est aussi bien tenu qu'avec le robinet, nous avons pu le conserver intact pendant toute une semaine.

Le réservoir R est monté et descendu au moyen d'une simple poulie; quand il doit être au repos, on accroche le bout de la corde qui le tient à un piton qui n'est pas figuré dans la planche. Enfin le ballon analyseur Z a dû être aussi modifié; il est maintenu dans un peu d'eau chaude que chauffe un fourneau à pétrole M, fixé solidement au plancher.

On ne peut faire ici un courant d'eau autour de son col, mais les bulles qui se produisent sont obligées de passer dans un tube S, où elles rencontrent un rétrécissement X qui les crève et les empêche d'aller plus haut : le liquide qui résulte de leur destruction retourne en Z par le tube U. Enfin l'eau est introduite dans l'appareil en aboutant notre bouteille par son robinet R′ au petit robinet de verre V.

Quand l'appareil ne sert pas, on l'attache solidement au mur de la cabine, il ne fait alors aucune oscillation et il suit celles du navire, le réservoir est fixé un peu plus haut que la boule barométrique.

On peut utiliser notre instrument par les houles moyennes : il est évident qu'il ne faut pas s'en servir par les gros temps, mais qui pensera jamais à faire une expérience délicate par la tempête, quand on a déjà toutes les peines du monde à se maintenir debout? D'ailleurs ces jours-là on ne peut même pas recueillir de l'eau et envoyer les bouteilles dans la profondeur.

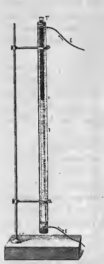
Les tubes contenant les gaz de l'eau peuvent être simplement bouchés avec un bouchon en caoutchouc et maintenus debout dans des porte-tubes; le mercure qui reste au fond, au-dessus du bouchon, suffit pour les fermer aussi hermétiquement que s'ils étaient soudés à la lampe. Enfin si, à bord, on est bien installé, on peut placer une petite cuvette profonde à mercure sur une suspension à la Cardan et faire les analyses par la potasse et l'acide pyrogallique, sinon on ne fait les analyses qu'au retour, comme l'ont toujours fait les chimistes du *Challenger*.

45. — Sur la rapidité de la diffusion de l'oxygène dans l'eau de la mer.

(*Expériences de mesure.*)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1892.)

Un grand tube T ouvert en haut et fermé en bas est renfermé dans un autre T' où circule perpétuellement un courant d'eau froide pour que les remous résultant des changements de température ne puissent pas entrer en cause en T'. Le tube intérieur T' est rempli d'une solution de bleu Coupier exactement saturé par de l'hydrosulfite de soude, de telle sorte que la moindre trace d'oxygène donne une couleur bleue intense à ce liquide, en ce moment jaune pâle.

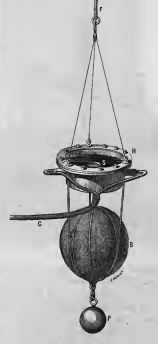


L'appareil est laissé ouvert dans le laboratoire et le courant d'eau établi. Au bout de trois mois, la teinte bleue qui a gagné de proche en proche n'a pas encore tout à fait 1 mètre de profondeur; c'est donc à peine d'un centimètre par jour que l'atmosphère gazeux pénètre dans l'atmosphère liquide. Il résulte de cela que l'air ne saturerait en un an qu'environ 4 mètres d'eau de profondeur, il aurait donc fallu 1000 ans pour que l'oxygène de l'air ait pénétré par simple diffusion depuis la surface jusque vers les fonds de 4000 mètres si communs dans nos océans. Cela paraît énorme, mais en réalité la diffusion n'a pas seule agi comme nous venons de le voir : les remous thermiques, l'agitation des flots, les chutes de poussières ont brassé les mers et mélangé les couches saturées de gaz avec celles qui n'en contenaient pas. Et puis, eût-il encore fallu 1000 ans, qu'est-ce que cela dans les temps géologiques?

46. — Sur un dispositif qui permet de mesurer l'intensité de la lumière qui pénètre dans les eaux.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1890.)

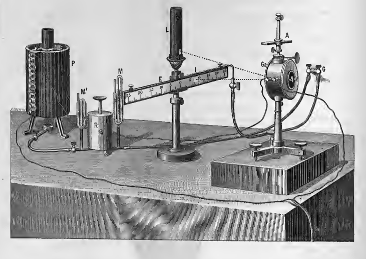
Le sélénium a la propriété de diminuer de résistance quand il est éclairé



même avec une faible intensité. On a donné des explications variées du phénomène, mais, quelles qu'elles soient, le fait est certain. Si donc on

interpose un fragment de sélénium sur un courant parfaitement constant, on verra ce courant dévier plus ou moins le galvanomètre suivant que le sélénium sera ou non éclairé et la déviation sera proportionnelle à l'éclairement.

L'instrument que nous avons imaginé est fort simple. Une pile au sélénium S construite comme cela est indiqué dans tous les traités de physique, est placée dans une boîte de cuivre H parfaitement étanche et fermée par

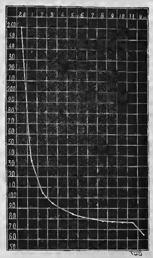


une glace. Cette boîte est pendue à une patte d'oie en fil d'acier très fin et aboutit à un fil de sonde F divisé de mètre en mètre par des rosettes de drap rouge. Pour que la boîte, lestée par le boulet de fer P, ne subisse aucune pression et ne se brise pas quand on l'immerge, elle est munie, comme la plupart de nos appareils, d'un ballon compensateur B.

Un système de boulons isolés, fabriqués en fibre et en ébonite, permet à un câble marin C, dont les deux fils sont parfaitement isolés, de pénétrer dans la boîte et de se mettre en rapport avec les pôles de la pile au sélénium.

Ce câble a une longueur de 250 mètres, il permet donc de faire l'expérience à une distance assez grande du bord de la mer.

On ne peut en effet s'écarter beaucoup de la terre ferme, car il faut, de toute nécessité, que le galvanomètre très sensible dont on va se servir soit à



terre dans une chambre obscure. Les mouvements d'un navire ne permettraient aucune lecture.

La pile aussitôt après son enroulement présentait une résistance de 5000 ohms. Aussitôt après avoir été desséchée à 200 degrés, elle avait une résistance de 250 000 ohms. Après son refroidissement, elle avait une résistance de 3 100 000 ohms. L'isolement des lames de cuivre était donc excellent.

Quand on eut placé le sélénium entre les spires, la résistance tomba à 1 640 000 ohms. Devant un bec de gaz papillon, à 10 centimètres environ de lui, elle devint 680 000 ohms et 350 000 seulement à la lueur du ciel éclairé.

Nous avions donc un instrument d'une grande sensibilité.

Il fallait le mettre en rapport avec un galvanomètre.

Pour cela, dans une chambre obscure, se trouve une table solide, une paillasse en brique autant que possible.

Sur cette paillasse se trouve disposé un galvanomètre Thomson *Ga* dont le miroir est dirigé par un aimant faible A. Un bec de gaz L fournit de la lumière par une fente percée dans sa cheminée opaque. Le rayon lumineux, recueilli par le galvanomètre, est réfléchi sur l'échelle graduée I. Des déviations très faibles du miroir sont donc multipliées considérablement grâce à la longueur du faisceau lumineux. L'électricité est fournie par une pile thermo-électrique P dont les couronnes inférieures *sont seules utilisées*. La pile est entourée d'une tôle protectrice plissée qui empêche qu'un courant d'air fortuit ne vienne augmenter la déperdition de chaleur, ce qui amènerait à coup sûr un mouvement du galvanomètre. Le gaz qui chauffe la pile est d'ailleurs tenu à une pression parfaitement égale par le régulateur Moitessier R.

Grâce à ces précautions, l'appareil est régulier et sensible et, quand la pile est couverte, le miroir est immobile.

Nous avons immergé l'appareil à midi, par un ciel pur au large de Monaco. La figure ci-contre montre la courbe de diminution de lumière que nous ont fournie un grand nombre d'expériences.

47. — Sur un appareil permettant d'apprécier la quantité de lumière qui pénètre dans la mer.

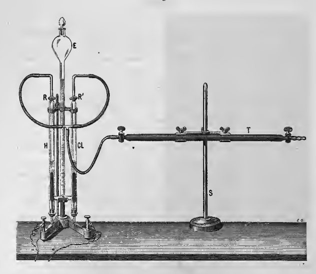
(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1890.)

Bunsen et Roscoë ont démontré que la quantité d'acide chlorhydrique qui se forme, sous l'influence de la lumière, dans un mélange strictement égal de chlore et d'hydrogène, est exactement proportionnel à la quantité de lumière qui tombe sur un élément de la surface de ce mélange.

Les deux savants physiciens ont pu, de la sorte, mesurer la quantité de radiation lumineuse que reçoit chaque élément terrestre à chaque heure du jour et ils ont exprimé cette quantité en centimètres cubes d'acide chlorhydrique formé. Nous avons pensé que nous obtiendrions le même résultat en

immergeant à différentes profondeurs dans l'eau de la mer des tubes remplis d'un mélange à parties égales de chlore et d'hydrogène. Voici le manuel opératoire dont nous nous sommes servi.

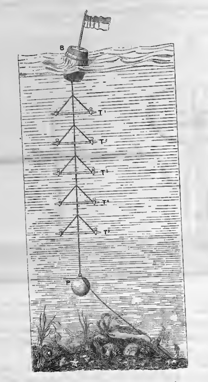
Dans le laboratoire installé à Monaco, nous avions disposé un voltamètre d'Hoffmann, tel que le représente la figure ci-dessous.



Dans les deux tubes H et CL se trouvait de l'acide chlorhydrique pur. Deux électrodes faites en charbon de cornue y amenaient le courant des Bunsen; la décomposition de l'acide chlorhydrique se faisait selon les lois connues en chlore et hydrogène, qui remplissaient les tubes H et CL en refoulant le liquide dans l'ampoule E.

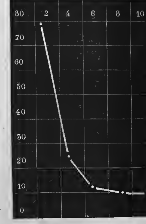
D'autre part en T se trouvait un long tube divisé en 100 parties égales, il était fermé par deux robinets de verre et soigneusement peint avec un vernis noir tout à fait opaque composé de noir de fumée dissous dans la gomme; on y avait au préalable fait le vide absolu par la pompe à mercure.

Il suffisait de le mettre en rapport avec le voltamètre quand celui-ci était rempli, puis d'ouvrir les robinets RR' et l'un des robinets du tube T pour que celui-ci se remplît du mélange détonant.



On préparait cinq tubes semblables et on les disposait le long d'un fil de sonde de 2 en 2 mètres, puis, une bouée étant à l'un des bouts du fil, et une

ancre à l'autre, ou portait l'appareil en mer et on l'y coulait pendant la nuit, l'eau lavait en quelques minutes le vernis à la gomme qui couvrait les tubes, leur surface redevenait transparente et pouvait recevoir l'impression lumineuse dès le lever du jour. Il est nécessaire lorsqu'on fait pareille expérience de la tenter par un ciel totalement couvert, sinon l'impression lumineuse est trop vive et la recomposition de l'acide chlorhydrique se fait en totalité dans tous les tubes.



Pendant une journée entière les tubes demeuraient plongés dans la mer ainsi que cela se voit dans notre figure.

L'expérience a toujours été faite au sud du rocher de Monaco.

Dans la nuit qui suivait, on retirait l'appareil, on laissait rentrer l'eau dans chaque tube en ouvrant un des robinets : l'acide chlorhydrique formé se dissolvait instantanément et en lisant de suite le chiffre indiqué sur le tube par le niveau de l'eau on avait, par différence, la quantité d'action chimique intervenue et par conséquent la quantité de lumière qui avait pénétré dans la mer.

La courbe que nous donne la figure ci-contre représente le résultat moyen des expériences.

Il est facile de voir qu'elle reproduit sensiblement ce qu'avait fourni la pile au sélénium. Dès le premier mètre d'eau il y a une grande absorption de lumière. Puis la lumière diffuse produite par la réflexion de la lumière sur les mille petits corps en suspension donne une lumière faible, mais presque égale, qui règne ensuite jusqu'à une certaine profondeur.

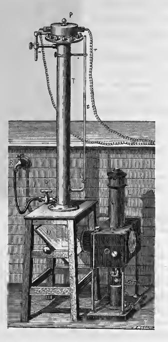
Il y aurait un véritable intérêt à descendre dans les grands fonds un tube à chlore et hydrogène et à voir jusqu'où les rayons actiniques formeraient de l'acide chlorhydrique.

C'est une expérience que nous n'avons pas encore pu réaliser : mais nous la ferons quelque jour.

48. — Influence des poussières contenues dans l'eau sur l'absorption de la lumière par ce liquide.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1893.)

Nous avons voulu compléter nos recherches dans l'absorption de la



lumière par les eaux en recherchant l'influence des nombreuses poussières

qu'elles contiennent à l'état naturel. Nous avons pour cela utilisé un grand tube de cuivre fermé en bas par une glace. Les rayons d'une lampe électrique étaient rendus parallèles et envoyés dans ce tube qu'on remplissait peu à peu d'eau distillée d'abord, puis d'eau de pluie, d'eau de Seine, etc. La pile au sélénium placée au-dessous donnait la mesure de l'intensité lumineuse. On trouvera dans notre mémoire la courbe des résultats.

49. — Note sur un dispositif destiné à éclairer les eaux profondes.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1888.)

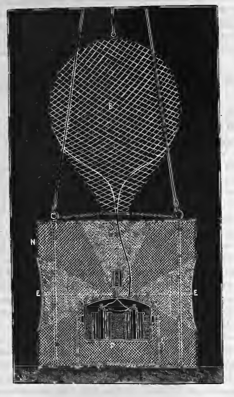
Nous nous sommes demandé ce que produirait la vue de la lumière aux animaux qui vivent dans les grands fonds de l'Océan où elle ne pénètre guère, sinon pas du tout.

Notre expérience a deux buts : résoudre une question de physiologie générale, constituer un piège qui permettrait de capturer des espèces encore inconnues habitant les eaux profondes.

Nous avons donc essayé de faire un appareil qui permît d'éclairer les grands fonds de l'Océan.

La seule lumière que l'on puisse envoyer dans les grandes profondeurs est la lumière électrique; toutes les autres exigent le concours de l'oxygène de l'air et doivent être rejetées. Mais, même avec la lumière électrique, le problème est encore des plus compliqués. La première idée qui se présente est de construire une nasse, un casier dans lequel se trouverait une lampe incandescente reliée à un navire par un câble, l'électricité étant produite à bord. Cette combinaison très simple est absolument impraticable. En effet, ou bien la nasse sera entre deux eaux et suivra le navire à la traîne et alors, comme elle ne sera jamais immobile, il n'y entrera jamais rien; ou bien elle sera coulée sur le fond et comme le navire ne peut rester immobile, elle sera rapidement mise en morceaux. La seule solution est donc de couler l'appareil avec la pile, source de la lumière électrique. C'est ce dernier parti que nous avons pris : il présente quelques difficultés, comme on va voir; il faut, en effet, que les piles soient placées dans une boîte fermée et étanche. Or, à 4000 mètres, il y a une pression de 400 atmosphères; quelle boîte peut résister à une pareille pression, quelle fermeture peut la supporter sans

laisser entrer l'eau immédiatement? Ce que nous avons voulu obtenir ç'a été



que la pression fût égale en dedans et en dehors de notre appareil, et par conséquent nulle.

Nous nous y sommes pris de la façon suivante : les piles, qui sont de

simples Bunsen dans lesquelles l'acide azotique est remplacé par de l'acide chromique, les piles, dis-je, sont dans une boîte en fer close par un couvercle serré par des boulons sur une bague de caoutchouc ; ce couvercle est percé de deux trous : l'un laisse passer les fils E qui vont des piles à une lampe Edison de douze volts L, l'autre se termine par un tube A où aboutit un ballon B situé au-dessus et rempli d'air ; ce ballon en toile caoutchoutée est soutenu par un filet solide. Quand on immerge ce système, le ballon se comprime à mesure qu'il s'enfonce et il injecte dans la boîte des piles P de l'air juste à la pression à laquelle elle est soumise au lieu où elle se trouve. Il y a donc pression égale en dehors et en dedans de la boîte et, par conséquent, pression nulle, fût-on à une profondeur immense.

La lampe et sa pile sont suspendues sur un cadran C et placées dans une de ces nasses dont le prince de Monaco a donné la description.

50. — Tubes lumineux destinés à éclairer les profondeurs de la mer.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1888.)

Il est possible de porter la lumière dans les grands fonds par un procédé plus simple que les lampes électriques.

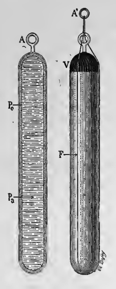
Certaines substances, le sulfure de calcium, en particulier, ont la propriété, comme on sait, de rester longtemps lumineuses après avoir été exposées à la lumière du soleil et du magnésium.

Il est donc possible d'illuminer un tube rempli d'une de ces substances puis de le descendre au fond, suspendu dans une nasse. Cette idée nous est venue en même temps, à M. Hermann Fol et à moi.

M. Hermann Fol descendit dans la Méditerranée des tubes qu'il avait simplement remplis de poudre phosphorescente. Mais, il fallait s'y attendre, la pression brisa ces tubes.

C'est pour éviter pareil accident que j'avais eu l'idée de procéder de la façon suivante : un gros tube de verre est d'abord rempli de vernis épais, puis on rejette ce vernis de telle sorte qu'il en reste une simple couche sur ses parois. Pendant que ce vernis est encore visqueux, on remplit le tube de

poudre phosphorescente. Cette poudre s'attache au vernis et forme une couche uniforme tout autour du tube. On coule alors dans ce tube de la paraffine fusible à basse température et on le ferme en ne laissant en haut



qu'une bulle d'air au point d'occlusion. On a ainsi un appareil qui ne casse pas sous la pression, puisqu'il est complètement plein d'une substance à peu près incompressible. Il a très bien supporté une pression de 800 atmosphères.

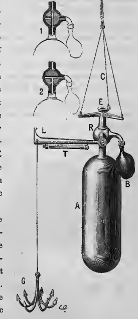
51. — Sur un projet de bathomètre.

(Comptes rendus de la Société de biologie, 1895.)

La mesure des grandes profondeurs de la mer par des fils de sonde est souvent difficile, à cause de l'obliquité que prennent ces fils et des enroule-

ments qu'ils subissent souvent sur le fond. Un navire a trouvé 15 000 mètres de fond à plusieurs reprises dans un point qui en a à peine 4500. J'ai pensé qu'on pourrait utiliser la compression de l'eau pour en déduire la profondeur à laquelle elle a été puisée.

Un grand vase de cuivre mince A aura la capacité qu'on désirera. Il sera avantageux, comme on va voir, de lui donner de grandes dimensions. Un hectolitre ne me semblerait pas de trop. Il n'y a pas à craindre le poids, puisque nous savons qu'il nous faut un minimum de 50 à 70 kilogrammes pour aller au fond avec assez de vitesse. Notre vase A est ouvert en haut par un robinet à trois voies R que manœuvre le long levier L. Un collier s'attache au-dessus de ce robinet, il soutient trois fils d'acier ou de chanvre C réunis en patte d'oie au niveau du câble de descente. Sur la troisième voie du robinet se trouve un sac de caoutchouc épais, aplati et vide d'eau.



Quand on descend l'appareil, le robinet est dans la position 1, c'est-à-dire que le ballonnet est fermé et que le robinet est ouvert de la bouteille à l'extérieur. La grande bouteille se remplit donc d'eau dès qu'elle est immergée. On la descend, et au fur et à mesure qu'elle s'abaisse l'eau s'y comprime naturellement.

Arrivée sur le fond, elle se couche et le traînage sur la vase accroche le grappin qui est au bout du levier L et ferme du coup le robinet qui prend dès lors la situation 2. La communication avec l'extérieur est supprimée, mais la bouteille communique avec le ballonnet B. On remonte le bathomètre, l'eau se décomprime et l'excès de liquide ainsi produit va se déverser

dans le ballonnet B. Arrivé à bord, celui-ci est dévissé, on verse l'eau qu'il contient dans une éprouvette graduée.

On a dès lors tous les éléments du problème.

Les travaux concordants de Wertheim, de Grassi, de Tait, de Buchanan, montrent que l'eau de mer se comprime en moyenne de 0,00000430 par mètre. Un réservoir de 100 litres donnera donc une diminution du volume de l'eau égale à 0,0000430 $\times$ 1000 pour 10 mètres de descente, soit 0^{lit},0043. Pour une dénivellation de 3000 mètres, par exemple, l'eau diminuera de 0,00000430 $\times$ 100 $\times$ 3000, soit 1^{lit}, 290.

C'est précisément cette eau qui s'emmagasinera dans la bouteille, qui s'y trouvera enfermée à la clôture du robinet et qui regorgera dans le ballon B à la remontée. Donc l'ayant mesurée, il suffira de diviser le nombre obtenu par 0,0000043 pour avoir la profondeur. Il y aura à faire une correction de température car, à la clôture du robinet, l'eau était froide; elle se sera réchauffée en remontant et se sera dilatée.

La lecture donnerait donc un chiffre trop fort.

On remarquera en T, sous le levier L, un tube, il contient un thermomètre à renversement, très bien protégé, qui rapportera la temperature du fond.

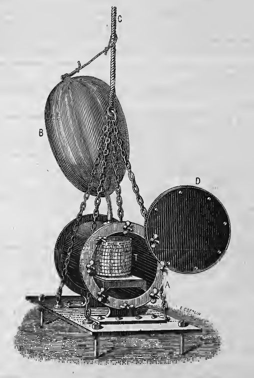
On notera aussi que si des gaz se dégagent de l'eau à la montée par suite de la diminution de pression, ils n'entacheront nullement les résultats, car ils se réuniront il est vrai en B, mais quand on ouvrira celui-ci ils s'échapperont tout simplement et n'entreront pas dans la lecture du volume de l'eau transvasée dans l'éprouvette.

52. — Note sur un thermomètre enregistreur destiné aux profondeurs.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1888.)

Les navires français le *Talisman* et le *Travailleur*, dans leurs fameuses explorations scientifiques, ont souvent pris la température des grandes profondeurs de la mer. Ils le faisaient au moyen de thermomètres qu'une enveloppe, disposée spécialement, préservait de la haute pression.

Ces recherches, poursuivies par Milne-Edwards et la commission des dragages, ont donné les résultats les plus concordants.



Mais ne serait-il pas curieux de connaître la *marche* de la température dans les régions abyssales? Cette température varie-t-elle suivant les époques de la journée, suivant les saisons, ou bien les êtres qui vivent

dans ces régions jouissent-ils toujours du même degré de chaleur, sans subir les alternatives auxquelles sont soumis les animaux de la surface?

C'est ce qu'un thermomètre enregistreur peut seul nous faire connaître.

Il existe déjà un thermomètre enregistreur sous-marin; il est dû à Pouchet, qui l'a fait construire par MM. Richard frères. Il consiste dans un thermomètre Richard renfermé dans une boîte de fonte fermée par des boulons qui serrent une plaque sur une bague de caoutchouc. La boule du thermomètre est en dehors de la caisse, ce qui la met directement en contact avec l'eau.

Cette disposition ingénieuse n'est pas applicable aux grandes profondeurs.

1° La pression de plusieurs centaines d'atmosphères aurait vite raison de la fermeture qui prendrait l'eau de toutes parts.

2° La boule, en contact avec l'eau, subirait aussi la pression et, si épaisse qu'on puisse supposer, s'applatirait assez pour chasser son liquide dans la spirale enregistrante et, par conséquent, pour fausser l'indication de la température.

En somme, le thermomètre de Pouchet, qui fonctionne très bien à quatre atmosphères, serait sans doute aplati à quatre cents atmosphères.

Nous avons remédié à ces inconvénients :

1° Nous supprimons l'effet de la pression en renfermant le cylindre enregistreur et le thermomètre dans une boîte mince et boulonnée, au-dessus de laquelle se trouve un ballon à air compensateur du modèle de celui que le commandant Banaré et moi avons décrit et utilisé dans des buts différents.

2° La boule du thermomètre est renfermée dans l'appareil, la pression n'agit donc pas sur elle. Cela semble inférieur à la disposition adoptée par Pouchet, puisque la boule n'est plus directement en contact avec l'eau et qu'elle ne reçoit la température que par l'intermédiaire de l'air renfermé dans la caisse.

En pratique, cela ne fait presque rien; nous avons, en effet, mis un enregistreur ordinaire à côté du nôtre; dans l'air, les deux courbes se superposent presque; dans l'eau, le retard du thermomètre enfermé est si insignifiant qu'on ne peut distinguer une courbe de l'autre.

Dans les grands fonds, la température varie si lentement qu'un retard

de cinq ou six minutes (déjà imperceptible sur une feuille de papier qui ne se déroule que suivant un millimètre à l'heure), un léger retard, dis-je, n'existe même pas.

Pendant plusieurs années nous avons pris régulièrement la température de la Manche, grâce à l'aide qu'a bien voulu nous donner l'Administration des Ponts et Chaussées en nous fournissant les scaphandriers nécessaires pour placer chaque lundi un de nos thermomètres au fond de la mer.

53. — Sur un photomètre enregistreur destiné à fonctionner dans les eaux de la mer, des fleuves et des lacs.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1888.)

Nous pouvons dire de la lumière ce que nous avons dit de la température : on a déjà cherché ses limites de pénétration dans les eaux des lacs et de la mer. Asper, dans le lac de Zurich; Fol et Sarrazin, dans le lac de Genève, puis dans la Méditerranée, ont montré, par des procédés très précis, que la lumière pénétrait encore à des profondeurs considérables.

Mais ce qu'on n'a pas encore fait, à notre connaissance, c'est d'enregistrer, à toute minute du jour, la pénétration de la lumière dans un fond quelconque.

Nous y arrivons par le procédé suivant :

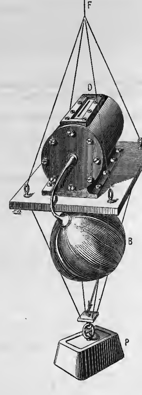
Dans un tube de cuivre fermé par une plaque serrée sur une bague de caoutchouc, se place un cylindre tournant en trente-six heures; au devant de ce cylindre se trouve une fente d'un millimètre de diamètre fermée par une glace. La lumière du jour pénètre par cette fente et vient impressionner un papier sensible au platine qui est enroulé sur le cylindre.

Ce papier est divisé en heures et en quarts d'heure. L'illumination plus ou moins vive fait qu'on obtient des teintes plus ou moins foncées. Au petit jour commence l'impression; elle finit au dernier crépuscule.

Supposons deux appareils semblables :

L'un, muni d'un ballon compensateur de pression, est immergé dans la mer, à une profondeur donnée par la sonde. L'autre est laissé à bord. Le premier, par son relèvement, nous dira à quelle heure la lumière a commencé à pénétrer sous l'eau, l'autre nous dira à quelle heure elle a com-

mencé à paraître sur terre. Le retard constaté entre les deux heures sera



représenté par un chiffre que nous pourrons considérer comme l'indice d'absorption de la couche d'eau.

Dans les grands fonds, le papier au platine sera remplacé par un papier Eastman, que la moindre impression lumineuse attaquera.

Quelques précautions particulières doivent être prises. Un cylindre tournant en trente-six heures sert aux déterminations rapides ; un autre tournant en quinze jours sert aux relèvements de longue durée.

Un ballon compensateur, analogue à celui de l'hydrophone Banaré et de notre lampe sous-marine, empêche l'appareil de supporter aucune pression.

Enfin, une boîte contenant de la chaux vive absorbe le peu de vapeur d'eau qui pourrait pénétrer dans l'appareil et jaunir le papier.

Un dispositif de verres dépolis de plus en plus foncés, recouvrant la fente, permettra d'enregistrer de véritables courbes.

Le prince de Monaco a fait fonctionner avec succès ce photomètre dans la baie de Funchal (Madère).

54. — Sur un dispositif permettant de photographier le fond de la mer ou toute autre profondeur inaccessible.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1888.)

Puisque la lumière peut arriver à certaines profondeurs, il est probable, *a priori*, qu'on pourra y prendre des clichés représentant la configuration du sol, les espèces fixées et peut-être quelques espèces mobiles qui se trouveront par hasard devant l'appareil.

Les desiderata à combler pour y arriver sont les suivants :

1° Le fond de la mer doit être éclairé ;

2° L'appareil doit être au point ;

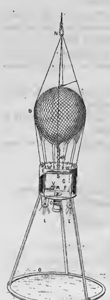
3° Il doit s'ouvrir subitement et se refermer après un temps de pose donné et calculé ;

4° Il ne doit subir aucune pression de la part de l'eau et doit être absolument étanche.

Nous réalisons ces points par le dispositif suivant :

1° L'éclairage du fond de la mer est produit par deux lampes à incandescence, actionnées par une pile légère. On pourra avantageusement utiliser celle du commandant Renard.

Ces deux lampes sont placées de chaque côté de l'objectif et un miroir concave projette leur lumière sur le sol.



2° La chambre noire et la pile sont dans un coffre métallique établi sur un trépied en forme de cet affût que les artilleurs appellent *à crinoline*. L'objectif, situé au sommet de ce cône, est mis au point pour sa base. Il sera donc toujours au point pour le fond de la mer quand l'appareil sera coulé et reposera sur ce fond.

3° L'obturateur est un de ceux qui s'ouvrent par une pression et qui restent ouverts un temps donné, sous l'influence d'un mécanisme spécial. Le nombre de ces obturateurs est considérable.

On provoque l'ouverture en lançant un anneau de plomb le long de l'amarre qui porte tout l'appareil. Le choc de cet anneau, agissant sur une tige qui passe par un suffing-box, suffit pour déboucher l'obturateur, qui se referme spontanément ensuite.

4° Enfin, l'appareil est à l'abri de la pression, grâce à un ballon compensateur de la nature de ceux dont il a déjà été question pour mes différents appareils sous-marins.

55. — Sur la décomposition de l'eau oxygénée par la fibrine.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

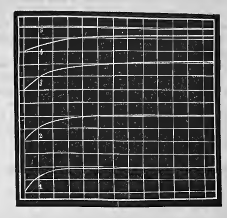
Nous avons utilisé, pour cette étude, notre appareil à fermentation.

Nous opérons au moyen de fibrine très pure, desséchée dans le vide, pesée sèche, puis humectée de nouveau avec de l'eau. L'eau oxygénée que

nous employons est exempte d'acide sulfurique et contient 10 volumes d'oxygène.

Nous avons pu voir en premier lieu que le dégagement de l'oxygène est *parabolique*.

Un fait analogue avait été constaté par M. Berthelot. Ce savant, ayant fait une longue série d'analyses de l'oxygène contenu dans de l'eau oxygénée abandonnée à elle-même pendant des mois, a vu que les chiffres



d'oxygène dégagé, réunis en courbe, donnaient une parabole. Notre cylindre enregistreur nous a donné la même courbe en quelques heures; la fibrine ne modifie donc pas le mode de décomposition du peroxyde d'hydrogène, elle l'active seulement.

En second lieu, nous avons vu que, contrairement à l'opinion émise par M. Béchamp, la fibrine encore intacte, placée dans l'eau oxygénée, ne décompose pas celle-ci complètement. Il y a un moment où la réaction s'arrête; et pourtant il reste encore beaucoup d'eau oxygénée, comme on peut le démontrer en ajoutant un peu de bioxyde de manganèse ou de fibrine neuve au liquide en expérience. On verra ci-dessus deux courbes. Dans

l'une, 20 grammes d'H^2O^2 ont été mis en présence de 2 grammes de fibrine. Dans l'autre, c'est 4 grammes de fibrine qu'on a mis en rapport avec les 20 grammes d'eau oxygénée; la parabole figurée sur le tracé montre un dégagement trois fois plus grand d'oxygène. La première fois, la réaction s'était donc arrêtée avant la décomposition totale.

Le résultat le plus singulier que nous ayons obtenu est relatif à la *reviviscence* de la fibrine sous l'influence du lavage. Quand la fibrine a arrêté son action, comme nous l'avons dit plus haut, il suffit de la laver pour lui rendre son influence. Celle-ci persiste, mais à un degré moindre; la fibrine, remise dans l'eau oxygénée intacte, dégage de moins en moins d'oxygène, et au 4e lavage elle est devenue tout à fait inerte. La figure ci-dessus est tout à fait démonstrative.

La courbe n° 1 a été obtenue par l'action de 2 grammes de fibrine sur 20 gr. d'eau oxygénée. La réaction arrêtée, on a lavé la fibrine, qui a donné la courbe n° 2 en présence de 20 autres grammes d'eau oxygénée. Les courbes 3, 4, 5 ont été obtenues à la suite de nouveaux lavages. On voit que l'activité de la fibrine était restée sensiblement la même en 1, 2 et 3, qu'elle avait beaucoup diminué en 4, et disparu complètement après le quatrième lavage.

56. — Action des matières albuminoïdes sur l eau oxygénée.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 1882.)

La fibrine décompose l'eau oxygénée, mais il n'en est pas de même si elle a été peptonisée par la digestion.

La matière fibrinogène et la fibrino-plastique sont également sans action. Il faut que la fibrine soit constituée pour agir. Le sérum du sang décompose énergiquement l'eau oxygénée. Les tissus conjonctifs ont la même action que la fibrine du sang. Le tissu de foie, bien lavé, a une action instantanée.

Les champignons, l'orge germée ont une action très intense.

Toutes ces substances deviennent inertes si elles ont passé à 70°.

Parmi les liquides pathologiques, celui de la pleurésie est le seul actif.

La putréfaction n'enlève pas l'activité décomposante aux substances qui la possèdent.

57. — Action de l'eau oxygénée sur le sang.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

L'eau oxygénée mise en rapport avec le sang se détruit presque instantanément. Elle détruit l'hémoglobine avec une grande intensité.

Enfin elle produit des embolies gazeuses dans les artères. Nous pensons donc qu'il serait dangereux de l'injecter dans le système sanguin pour y détruire les ferments.

58. — Influence de l'eau oxygénée sur les venins.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

A. — *Charbon.*

1° Nous avons injecté sur un cobaye quelques gouttes d'une culture charbonneuse remplie de spores, culture qui nous avait été fournie par M. Pasteur.

A un autre cobaye, nous avons injecté la même culture mise en rapport pendant cinq minutes avec l'eau oxygénée à 10 volumes. Trente heure après, les deux animaux étaient morts.

Nous avons alors recommencé l'expérience, mais en laissant la culture en rapport avec l'eau oxygénée pendant une heure, et en prenant soin de bien mélanger les deux liquides avec une baguette de verre.

Trente-six heures après, le cobaye inoculé avec la culture intacte était mort, et son sang, rempli de bactéridies, donnait le charbon à deux autres animaux, tandis que le cobaye inoculé avec la culture traitée par H^2O^2 était encore en excellente santé. Ce dernier animal a vécu ensuite indéfiniment.

2° Nous inoculons deux cobayes : A, avec du sang charbonneux très virulent; B, avec le même sang ayant séjourné cinq minutes avec trois fois son volume environ d'eau oxygénée à 10 volumes.

Le lendemain, A est mort et son sang rempli de bactéridies; B ne succombe que soixante heures après l'inoculation.

Comme pour la culture, nous recommençons l'expérience, et nous laissons le sang charbonneux pendant deux heures en contact avec H^2O^2. Dans ces conditions nouvelles, le cobaye inoculé au sang pur meurt le lendemain, tandis que l'autre continue à vivre indéfiniment.

Il résulte donc de nos expériences que l'eau oxygénée tue les bactéridies *et même les spores,* à la condition toutefois de rester quelque temps en contact avec ces êtres. Nous noterons que le mélange du sang et de l'eau oxygénée doit être fait avec le plus grand soin, sans quoi on risquerait d'injecter des parties qui n'auraient pas été annihilées.

B. — *Virus vaccinal.*

Le vaccin a été divisé en deux parties.

L'une d'elles a été additionnée d'une certaine quantité d'eau oxygénée, pendant toute une nuit, à la température moyenne d'une quinzaine de degrés.

Le lendemain, on a inoculé le liquide de mélange à 5 enfants, à raison de quatre piqûres à chaque bras.

De ces enfants, un, qui était chétif, est mort sans que nous ayons eu de ses nouvelles; un autre a été perdu de vue; sur deux autres, il n'y a eu aucune pustule; enfin, sur un cinquième, trois pustules se sont développées normalement.

Les piqûres faites avec le vaccin *témoin* ont été suivies de succès.

Ces expériences ont besoin d'être multipliées; mais les trois pustules obtenues ont une grande valeur démonstrative.

C. — *Venin du scorpion.*

Nous avons répété sur le venin du scorpion et avec les mêmes précautions l'expérience que nous avions faite sur le virus charbonneux. Pour cela, nous avons soigneusement pilé avec de l'eau oxygénée la vésicule d'un scorpion d'Algérie.

Nous avons laissé les deux liquides en contact pendant vingt-quatre heures, puis nous les avons desséchés dans le vide et injectés sous la peau d'un cochon d'Inde. Un quart d'heure après, l'animal se couche, puis se roule sur le dos; il est pris de convulsions, il urine. Cet état dure douze

minutes, et l'animal succombe avec tous les signes ordinaires de la mort par le venin de scorpion.

En résumé, l'eau oxygénée :

1° N'agit nullement sur le venin du scorpion;

2° Tue les microbes du virus charbonneux et leurs spores;

3° Paraît ne pas agir sur le virus vaccin.

59. — Influence de l'eau oxygénée sur les fermentations.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

1° L'eau oxygénée arrête, suspend ou empêche toutes les fermentations par ferments figurés. Elle empêche la putréfaction.

2° Elle est sans action sur les ferments non figurés.

Dans le mémoire original, un grand nombre de faits et d'expériences établissent cette loi.

60. — Production d'alcool dans les fruits sous l'influence de l'eau oxygénée.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Quand on place des fruits dans l'oxygène comprimé, la cellule végétale se met à faire de l'alcool, exactement comme si on l'asphyxiait par l'acide carbonique.

L'oxygène en tension chimique dans l'eau oxygénée a la même action.

Nous laissons quelques kilogrammes de cerises en contact pendant dix-huit mois avec du peroxyde d'hydrogène. Au bout de ce temps, nous en retirons 257 grammes d'alcool éthylique pur.

61. — Sur l'emploi de l'eau oxygénée en thérapeutique.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883. Voyez aussi la note de MM. Péan et Baldy dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*.)

L'eau oxygénée arrête instantanément la putréfaction et toutes les fermentations dues à des organismes figurés. Cette propriété, que nous avons découverte dès 1880, devait avoir en thérapeutique des conséquences qu'il est facile de concevoir, aujourd'hui qu'il est démontré que beaucoup d'affections sont de nature parasitaire.

Les premiers essais ont été faits, sur nos indications, par MM. Péan et Baldy, on les trouvera réunis dans la thèse de M. Larrivé.

Nous nous étions placé à deux points de vue : l'eau oxygénée, tuant les microbes, doit donc être un antiputride énergique; de plus, elle se décompose lentement en présence des liquides des plaies, il doit donc se faire à la surface de celles-ci un dégagement continuel d'oxygène, un véritable bain, comme ceux que recommandaient autrefois Laugier et Demarquay.

L'eau oxygénée plus ou moins étendue a été appliquée sur toutes sortes de plaies résultant de traumatismes ou d'interventions chirurgicales, depuis de simples panaris jusqu'aux grandes plaies de l'ovariotomie. La réunion s'est toujours faite avec rapidité, et jamais aucun cas d'infection purulente ou putride n'a été observé.

L'eau oxygénée a été aussi employée en injections dans les cavités ou dans les trajets purulents; son effet a été excellent. Mais c'est surtout sur les ulcères simples, atoniques et torpides que, de l'aveu général, le résultat a été frappant : la réparation, si lente d'ordinaire, s'est toujours faite avec rapidité; dans les plaies gangreneuses, les syphilides ulcéreuses, la désinfection a été instantanee et la guérison prompte.

On n'a plus guère de doute, aujourd'hui, sur la nature parasitaire de l'*ophtalmie purulente*. L'eau oxygénée du commerce, neutralisée soigneusement, a été utilisée contre cette affection avec succès. L'*ophtalmie blennorrhagique* cède très rapidement au traitement (Larrivé).

Nous citerons encore, comme affection chirurgicale, la *cystite chronique*,

qui est très rapidement modifiée et guérie par les lavages au peroxyde d'hydrogène.

La *blennorrhagie* et la *vaginite* sont détruites avec une grande promptitude par les lavages à l'eau oxygénée.

Voilà ce qui a été fait jusqu'à présent en chirurgie. Il n'est pas douteux qu'on ne puisse faire encore davantage, surtout quand l'eau oxygénée sera mieux connue des chirurgiens. Ainsi, on pourra l'injecter dans les kystes hydatiques, afin de tuer les parasites.

En médecine, l'eau oxygénée a déjà été souvent employée sur nos indications.

La première affection que l'on ait essayé de traiter est la *diphtérie*. Les cas ne sont pas nombreux.

Certainement, cette substance mériterait d'être essayée d'une manière suivie, de préférence à toutes les drogues dont on charge l'estomac des diphtéritiques, sans aucune raison physiologique ou expérimentale.

L'eau oxygénée n'arrête pas la reproduction des membranes; mais elle modifie profondément les sécrétions infectieuses sous-jacentes à la membrane.

Le *muguet*, maladie certainement parasitaire, cède très rapidement à l'eau oxygénée : un certain nombre d'essais ont été déjà faits sur ce point.

L'*herpès circiné* est également détruit avec une grande rapidité.

Les diverses *teignes* (favus, trichophytes) résistent, à cause de la difficulté de faire pénétrer le médicament jusqu'au bulbe pileux.

Le *pityriasis versicolor* disparaît par quelques applications d'eau oxygénée, qui joint là son effet décolorant à une action parasiticide. Les *masques* de grossesse cèdent à une ou deux applications.

Il y aurait encore beaucoup à faire dans ce sens.

On tend de plus en plus à admettre que certaines *gastrites*, *entérites*, *diarrhées* et *dysenteries*, surtout celles des pays chauds, sont de nature microbaire. On pourrait les traiter par des capsules et des lavements à l'eau oxygénée. La décomposition de cette substance au contact des tissus aurait encore pour avantage de répandre dans le tube digestif une certaine quantité d'oxygène pur qui pourrait activer les diverses fermentations de la digestion.

Il n'y a pas jusqu'à la *phtisie*, dont la cause parasitaire est aujourd'hui

admise par tous les médecins, qui ne gagnerait peut-être à un traitement par l'eau oxygénée. Nous avons injecté cette substance par la trachée à des chiens qui n'ont manifesté aucune gêne : on pourrait peut-être la faire pénétrer dans le poumon au moyen de ces pulvérisateurs qui servent à introduire les eaux sulfureuses jusque dans la trachée dans tous les établissements thermaux.

Nous signalerons encore la *stomatite ulcéro-membraneuse* parmi les maladies dans lesquelles on pourrait essayer le peroxyde d'hydrogène.

Outre son action intense, cette substance a encore quelques avantages : 1° elle n'a aucune odeur; 2° elle n'occasionne aucune douleur; 3° elle n'est pas toxique, et elle ne peut même pénétrer dans le sang, puisqu'elle se décompose intégralement au contact du plasma.

62. — L'eau oxygénée et le virus morveux.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

M. Chauveau a bien voulu, sur notre demande, nous envoyer des tissus morbides provenant d'un cheval mort de la morve : c'étaient des fragments d'amygdale et de muqueuse pharyngienne.

Ils ont été divisés en deux parts et soigneusement broyés. L'une a été additionnée d'un volume d'eau double environ de son propre volume.

L'autre a reçu, en même proportion, de l'eau oxygénée à 8 volumes d'oxygène.

Toutes deux n'ont pu être inoculées que le cinquième jour après la mort de l'animal qui les avait fournies.

Les deux ânes inoculés sont morts avec tous les symptômes de la morve aiguë, l'un (eau simple) 7 jours, l'autre (eau oxygénée) 12 jours après l'inoculation.

L'eau oxygénée n'a donc pas détruit la virulence des tissus morveux. Rien ne prouve même que le retard de la mort provienne de son fait.

Il y aurait à chercher si, dans les tissus morveux, l'eau oxygénée conserverait longtemps la virulence en empêchant la putréfaction.

63. — Transformation des substances albuminoïdes en albuminose sous l'influence de l'eau oxygénée.

(En commun avec Paul Bert.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

I. — *Action de l'eau oxygénée sur l'albumine.*

Si on verse une certaine quantité d'eau oxygénée parfaitement neutre (et en train, par conséquent, de se décomposer abondamment) dans une solution bien filtrée d'eau albumineuse, on voit celle-ci prendre subitement des caractères particuliers. De légèrement louche qu'elle était, elle devient absolument transparente. L'albumine n'est plus coagulable par la chaleur, même en présence des acides faibles. C'est une modification subite qui se produit, et cette modification persiste même quand il n'y a plus d'eau oxygénée en présence. En effet, nous pouvons détruire celle-ci par l'oxyde de manganèse, filtrer, chauffer de nouveau, l'albumine ne se coagule pas plus qu'avant.

L'acide nitrique conserve la propriété de coaguler cette nouvelle albumine.

Nous avons voulu voir si cette substance nouvelle avait des propriétés optiques particulières. Une solution d'albumine déviait le plan de polarisation de 60 divisions vers la gauche. Après l'addition de quelques gouttes d'eau oxygénée, la déviation n'était plus que de 42 divisions. L'eau oxygénée avait donc ramené le plan de polarisation d'un tiers environ vers la droite.

En mettant la nouvelle albumine que nous avions obtenue dans un dialyseur, nous avons pu voir qu'au bout de vingt-quatre heures une très faible portion de sa substance avait diffusé. Et même la partie qui avait passé à travers la membrane avait des propriétés spéciales. Elle n'était coagulable ni par l'acide nitrique, ni par le tannin, ni par la liqueur de Brücke, ni par le cyanoferrure de potassium. En revanche, elle donnait avec l'alcool absolu un précipité blanc, floconneux, assez abondant, instantanément soluble dans l'eau en excès.

Cette substance semble résulter de l'action prolongée de l'eau oxygénée sur l'albumine et nous paraît être une albuminose particulière.

Toutes ces expériences, faites avec l'albumine de l'œuf, ont été répétées sans modification avec le sérum sanguin et l'urine humaine albumineuse.

II. — *Action de l'eau oxygénée sur les substances albuminoïdes non solubles. — Digestions artificielles.*

Nous mettons en contact pendant vingt-quatre heures, et dans des tubes tenus à 40 degrés, de l'eau oxygénée avec de la fibrine, de l'albumine cuite, de la viande cuite, du sang desséché, de la caséine coagulée. Notre eau oxygénée est très légèrement acidifiée par une goutte d'acide sulfurique, sans quoi elle se détruirait en quelques minutes. En examinant nos liquides après un jour, nous trouvons dans tous une substance incoagulable :

1° Par la chaleur;

2° Par l'acide nitrique.

Coagulable au contraire :

1° Par le tannin;

2° Par la liqueur de Brücke;

3° Par l'alcool absolu.

Pour éviter qu'on puisse accuser l'acide d'avoir donné naissance à ces différentes albuminoses, nous avons opéré avec de l'eau oxygénée tout à fait neutre; la digestion a été forcément beaucoup moins complète, l'eau oxygénée à 40 degrés se détruisait totalement en moins d'une heure, mais nous avons retrouvé toutes les albuminoses données par l'eau à peine acide.

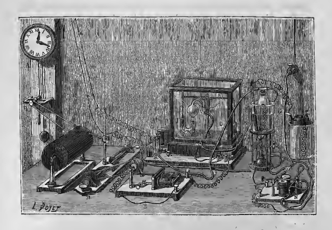
Ces albuminoses étaient trop peu concentrées dans nos expériences pour être essayées au polarimètre, mais nous avons essayé de les soumettre au dialyseur. Nous avons vu alors que toutes ces substances passaient, mais très lentement, à travers la membrane de l'appareil et fournissaient toutes les réactions que nous venons de décrire.

64. — Appareil destiné à enregistrer sous forme de courbe continue les phénomènes de la fermentation.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1882.)

Ce qu'on connait aujourd'hui des fermentations, c'est surtout leur résultat final. Cela tient à la manière dont on les étudie. On se contente en effet,

en général, de placer le ferment en présence de la matière fermentescible, on attend que toute action de l'un sur l'autre soit terminée, on analyse le produit obtenu et on s'en tient là. Mais de cette manière on ignore la marche de la fermentation, on ne sait si à certains moments donnés elle a des arrêts ou des temps de suractivité, si elle augmente ou si elle diminue d'intensité à mesure qu'elle marche, si elle s'arrête brusquement ou progressivement, si certaines substances ont la propriété de l'accélérer ou de la ralentir.



La méthode graphique, qui, dans tous les ordres de la science, a rendu de si éminents services, est seule capable de nous donner tous ces renseignements, puisqu'elle peut noter à mesure toutes les phases du phénomène sans l'interrompre.

Notre appareil nous a permis d'obtenir ce résultat avec une précision telle que nous n'osions l'espérer au début de nos recherches.

Il sert à enregistrer la marche de toute fermentation ou putréfaction pouvant donner lieu à un dégagement gazeux, et c'est précisément le dégagement du gaz qu'il enregistre.

En jetant un simple coup d'œil sur l'appareil figuré ci-dessus, on verra combien il est compliqué, mais cette complication même est nécessaire si on veut arriver à des résultats certains.

C'est sur un cylindre tournant G, couvert d'une feuille de papier enduite de noir de fumée, qu'un style viendra tracer la courbe de la fermentation.

Ce cylindre est mû lentement par une horloge : un mécanisme fort simple nous permet de réaliser, à peu de frais, ce mouvement très régulier. Nous nous servons d'une horloge ordinaire A : la corde qui en soutient le poids s'enroule autour d'un treuil B, qui tourne régulièrement à mesure que descend le poids. Ce treuil, au moyen d'une cordelette de transmission, entraîne le cylindre dans son mouvement : il suffit d'augmenter la puissance du poids de l'horloge pour conduire des cylindres aussi lourds et aussi volumineux que l'on veut, ce qui est impossible avec les appareils en usage jusqu'à présent.

En K se trouve un flacon de verre, dans lequel se passe la fermentation. Ce flacon est plongé dans un bain-marie tenu à une température constante par un thermomètre électrique M et un régulateur N actionné par la pile P. Nous n'insisterons pas sur la description de ce régulateur. Qu'il suffise de savoir que, dans la figure, les organes M, K, P, N n'ont d'autre but que de maintenir le bain à une température constante.

Le flacon communique par deux tubes : 1° avec un manomètre à eau J; 2° avec une petite cloche H plongée dans du mercure.

Quand, par suite de la fermentation, les gaz viennent à se dégager dans le flacon fermé, le flotteur, placé sur l'eau du manomètre, s'élève, et il entraîne avec lui le bras de la balance auquel il est attaché. Le bras opposé s'abaisse, et un fil de platine qui le termine vient plonger dans un godet de mercure O. Ce contact ferme le courant d'une pile placée dans une pièce voisine, et dont les conducteurs sont seuls représentés sur la figure.

Or, ce courant passe, à la fois et en même temps, dans la bobine F et dans la bobine E. Ces bobines s'aimantent et attirent leurs armatures.

En basculant, l'armature de la bobine E pousse *une* dent de la roue à rochet qui est au-devant d'elle. Cette roue à rochet entraîne, au moyen d'une corde de transmission, la vis D qui porte le style inscripteur. Cette vis tourne d'une certaine quantité, et le style avance d'autant.

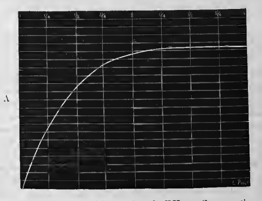
Mais, du même coup, la bobine F s'est aimantée. En basculant, son arma-

ture a soulevé la clochette qui plongeait dans le mercure et qui communiquait avec le flacon à fermentation. Celui-ci s'est trouvé débouché; le gaz produit s'est échappé. Aussitôt l'excès de pression a été détruit; le manomètre est retombé à 0°; le fil de platine a quitté le mercure et le courant a été rompu. Les deux bobines se sont désaimantées; la clochette est retombée dans le mercure; l'armature de E est revenue sous une autre dent de la roue à rochet, et tout est retombé dans le repos jusqu'au moment où une quantité de gaz, juste égale à la première, aura été produite par la fermentation. Alors, le même mécanisme se reproduira et le style avancera d'un nouveau degré. Finalement, il résultera de là, sur le cylindre, une courbe odométrique qui indiquera toutes les phases de la fermentation. Il est évident qu'on devra toujours se servir du même flacon et y mettre toujours la même quantité d'eau si on veut que ce soient des quantités de gaz égales qui produisent le déclanchement de la machine.

65. — Note sur l'expression graphique de la fermentation alcoolique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1884.)

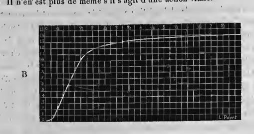
Quand on étudie avec l'appareil que nous venons de décrire une com-



binaison ou une décomposition (action de HCL sur Zn ou action de la

fibrine sur H^2O^2) on voit que la courbe est toujours une parabole. Il y a, dans ce cas, un mouvement uniformément ralenti (fig. A).

Il n'en est plus de même s'il s'agit d'une action vitale.



Il y a d'abord une première période où rien n'est apparent : c'est ce que nous avons appelé le temps perdu. Puis a lieu la fermentation tumultueuse, qui donne une ligne droite (mouvement uniforme), (fig. B).

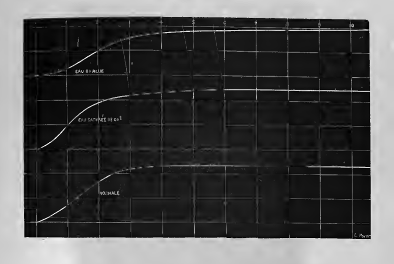
Puis tout se ralentit, et arrive la courbe ordinaire des actions chimiques, la parabole.

66. — Étude du temps perdu de la fermentation.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Le temps perdu n'est pas dû à la nécessité d'une pénétration du sucre jusqu'au protoplasma, car la levure déjà imbibée d'eau sucrée donne un temps perdu égal à celui de la levure fraîche. Le temps perdu ne tient pas à la dissolution de l'acide carbonique dans l'eau de l'appareil, car il a lieu dans l'eau saturée préalablement de CO^2. Il ne tient pas non plus à la consommation de l'oxygène dissous dans l'eau où se passe la fermentation, car on le retrouve même quand cette eau a été bouillie dans le vide.

Il tient à la nécessité d'une sorte d'excitation de la cellule de levure par le sucre. Il est, en effet, en raison inverse de la concentration du liquide. Il est faible quand les liquides sont très sucrés, prolongé, au contraire, quand les liquides fermentants sont très étendus.



67. — Étude graphique du troisième temps de la fermentation.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Si on arrête une fermentation au moment où commence la courbe parabolique et si on recherche le sucre dans le liquide, on n'en trouve plus trace.

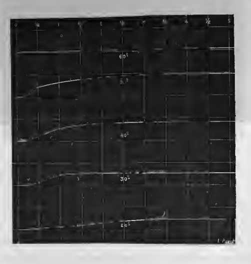
Pourtant le dégagement d'acide carbonique continue en se ralentissant peu à peu. Ce fait est un phénomène de respiration. La levure, excitée, continue son action sur ses propres matériaux. Cette action diminue en même temps que ces matériaux mêmes, d'où le rapide infléchissement de la courbe.

68. — Action de la température sur la fermentation alcoolique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1885.)

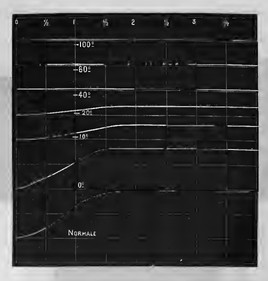
1° Quelles sont les températures extrêmes que peut supporter la levure sans perdre son action?

2° Quelle est la température optima pour la fermentation?



Nous avons soumis la levure à des températures allant de — 100° (acide carbonique solide et éther) à + 60°.

On voit que la levure qui a subi — 20° vit encore mais qu'elle est affaiblie. Celle qui a supporté — 40° est morte. La température de + 60° a le même résultat



La température de + 40° nous semble être la température optima de la fermentation de la levure haute. Elle y est, en effet, complète et rapide.

69. — Influence des divers agents physiques : pression, électricité, magnétisme, lumière, sur la fermentation.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1886.)

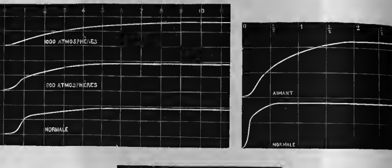
De la levure soumise à 600 et même 1000 atmosphères peut encore agir, mais à ce degré elle a beaucoup perdu de sa puissance.

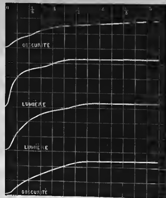
L'étincelle électrique n'a d'action que si elle est énorme (des étincelles de 50 centimètres, venues d'une bobine de Rhumkorff). Elle ralentit alors beaucoup la fermentation.

L'électricité en quantité (10 Bunsen) tue la levure irrémédiablement.

En soumettant une fermentation à l'action de l'aimant de Faraday animé par 60 Bunsen, on voit que la fermentation est un peu ralentie.

La lumière semble aussi augmenter l'activité de la levure de bière. La



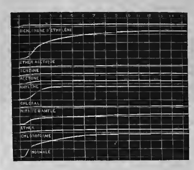


source lumineuse qui a permis d'obtenir la figure ci-jointe était un régulateur actionné par 60 Bunsen. Ses rayons étaient concentrés sur le liquide en fermentation.

70. — Action des anesthésiques sur la fermentation.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Nous avons placé dans notre appareil de la levure avec les principaux anesthésiques connus.



Le chloroforme entrave beaucoup plus la fermentation que l'éther. En revanche, le bichlorure d'éthylène, la benzine, l'aniline, le nitrite d'amyle, l'acétone et la benzine arrêtent presque complètement le phénomène.

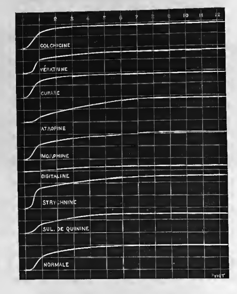
71. — Action des poisons végétaux sur la fermentation alcoolique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Il était intéressant de rechercher quelle pouvait être l'action des poisons végétaux sur le protoplasma végétal. En effet, chez l'être vivant ils demeurent l'un près de l'autre, comme le venin demeure dans les tissus mêmes de la glande de la vipère.

En jetant un coup d'œil sur les courbes fournies par l'appareil, on verra que certaines substances, le curare, la morphine, la colchicine et la cocaïne

sont sans action. Les strychnées activent, au contraire, la fermentation; la



digitaline, l'ésérine, la cicutine, diminuent beaucoup la puissance des ferments.

72. — Influence de la cocaïne sur la fermentation alcoolique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

La cocaïne n'est pas un poison ni un anesthésique du protoplasma en général comme le chloroforme ou l'éther. Ce qui le démontre, c'est qu'elle est tout à fait sans action sur la cellule de levure.

73. — Expression graphique de la fermentation. Action des alcools supérieurs.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1889.)

En faisant agir sur la levure les différents alcools de la série monoatomique nous avons obtenu des résultats qui peuvent se résumer en un tableau où la puissance de chaque alcool est comparée à la quantité d'atomes de carbone qu'il renferme :

Alcool	méthylique	contenant	C^1,	arrête la fermentation à	20 0/0
—	éthylique	—	C^2,	—	15 0/0
—	propylique	—	C^3,	—	10 0/0
—	butylique	—	C^4,	—	2 1/2 0/0
—	amylique	—	C^5,	—	1 0/0
—	caproïque	—	C^6,	—	2 0/00
—	caprylique	—	C^8,	—	1 0/00

Ce qui semble confirmer la loi dite de Rabuteau, à savoir : qu'un alcool est d'autant plus toxique qu'il contient un plus grand nombre d'atomes de carbone. Les alcools employés dans ces recherches avaient été préparés par Henninger.

74. — Expression graphique de la fermentation. — Action des antiseptiques.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1887.)

L'étude de l'action des antiseptiques sur la puissance de fermentation de la levure est d'autant plus utile que la tendance générale des industriels est de les employer, quelquefois au détriment de la santé publique.

Leur but est d'arrêter toute fermentation dans les cas de transport de liquides potables comme la bière ou le vin, ou de modérer la fermentation, et de l'arrêter à certains produits dans la fabrication des boissons alcooliques.

Notre étude a donc un intérêt immédiatement pratique à ajouter à un intérêt philosophique.

Nous avons employé les antiseptiques à une dose extrêmement faible ;

une partie de substance active pour 2500 d'eau. Cette proportion n'est même jamais utilisée par les fraudeurs, tant elle est minime.

En jetant un coup d'œil sur la figure qui accompagne notre travail, on voit que les substances seules qui sont pour nous d'une toxicité réelle ont aussi quelque influence sur le protoplasma végétal contenu dans la levure.

La fermentation normale produite par la levure que nous utilisions durait, dans ses trois phases, environ six heures.

En présence du sulfate de cuivre à la dose que nous avons dite, elle ne durait pas moins de treize heures, et encore elle n'était pas complète. Le protoplasma était suffisamment altéré, au bout de ce temps, pour ne plus attaquer la substance sucrée.

Le chlorure de zinc s'est montré beaucoup moins actif. Sous son influence, la fermentation a été fort peu atténuée. Il faut donc, à dose faible, le considérer comme un antiseptique peu fidèle.

J'en dirai autant des essences : l'essence d'anis, dont nous montrons ici l'action, n'a presque pas eu d'influence sur l'action fermentante.

Les véritables antiseptiques sont le thymol, l'acide phénique, le nitrate d'argent et l'eau iodée. Ces substances à 2500 ont absolument arrêté la fermentation. La légère élévation de la courbe que l'on observe en examinant la figure tient au léger dégagement gazeux que donne toujours spontanément la levure quand on l'a délayée dans l'eau.

L'acide salicylique est aussi un antiputride remarquable, bien qu'à dose aussi minime il ait permis un commencement de fermentation.

Pour l'étude du sublimé corrosif, nous avons employé des doses plus faibles encore. Notre première courbe a été recueillie avec une solution de 1 milligramme pour 250 grammes d'eau, soit une solution à 1/250 000. La fermentation n'a pas été complètement entravée. La solution à 1/125 000 n'a pas permis à la levure d'agir aussi complètement, mais elle ne l'a pas tout à fait tuée. Il nous a fallu aller à la dose de 1/25 000 pour annihiler totalement l'action du ferment.

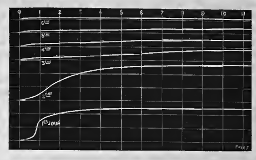
Notre travail complète ceux de Dumas sur l'action du borate de soude, de Rabuteau et Papillon sur l'influence du silicate de soude, enfin ceux de Petit, de Neubauer et de Kolbe sur l'acide salicylique.

75. — Influence de l'âge de la levure sur la fermentation alcoolique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1887.)

On sait, depuis les travaux de Pasteur, de Duclaux, de Schutzenberger et de Béchamp, que la levure abandonnée à elle-même s'épuise, qu'elle dépense ses propres matériaux protoplasmiques quand elle n'a plus de nourriture venue du dehors. C'est ce qu'on a appelé l'autophagie de levure.

Nous avons nous-même démontré que cette autophagie survenait à la fin d'une fermentation sucrée, quand la courbe, de rectiligne qu'elle était,



commençait à prendre la forme parabolique. La méthode graphique était seule capable de nous faire connaître cette donnée.

Il est certain que le degré d'autophagie de la levure est proportionnel à son âge, et que ses matériaux protoplasmiques sont d'autant plus épuisés qu'elle est plus ancienne.

Il arrive même un moment où elle se liquéfie avant d'en être arrivée à la mort et à la putréfaction, qui ne résultent que de l'action d'autres ferments sur elle-même.

Nous avons donc pensé qu'il serait intéressant d'étudier de la levure de plus en plus âgée, mise en présence du sucre, et de voir quelles modifications l'autophagie aurait introduites dans son activité.

Nous avons pris de la levure que nous avons additionnée d'un peu d'acide

phénique pour retarder sa putréfaction, et nous en avons placé un échantillon dans notre appareil enregistreur.

Le premier jour, nous avons obtenu la courbe normale.

Le second jour, un deuxième échantillon du même poids a été prélevé sur la masse et mis en contact avec le sucre.

La quantité de protoplasma consommée par l'autophagie était déjà telle que la courbe est très modifiée.

Le temps perdu est considérablement allongé, la période rectiligne est à peine sensible, et l'autophagie consécutive à la fermentation se fait avec une très grande lenteur. Mais la quantité d'acide carbonique dégagée et, par conséquent, de matière organique décomposée, est encore presque la même.

Dès le troisième jour, la fermentation a perdu son caractère. La partie active de la levure est presque complètement détruite.

La quantité de matière sucrée décomposée est insignifiante; elle ne va pas au tiers de la totalité. Le temps perdu dure plus d'une heure et la période parabolique est presque nulle.

Ces caractère s'accentuent encore beaucoup le quatrième jour, et enfin c'est à peine si, le cinquième jour de son inanition, la levure, complètement altérée, attaque la glucose.

Le sixième jour, on ne rencontre plus trace d'action.

Pendant tout le temps de l'expérience, les échantillons avaient été tenus à une température de 25 à 30°.

La méthode graphique ajoute donc aux connaissances que nous avions sur les phénomènes d'autophagie de la levure, en nous montrant que ce végétal, en détruisant son propre protoplasma, quand il est tenu à l'inanition, non seulement se rend à peu près incapable de prendre plus tard sa nourriture habituelle, mais modifie même la forme de la courbe suivant laquelle s'accomplit d'ordinaire sa nutrition.

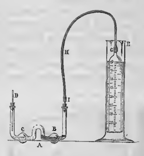
76. — Note sur un appareil destiné au dosage de l'urée.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1873.)

L'appareil que nous avons imaginé est aujourd'hui fort répandu; il permet d'exécuter un dosage d'urée en moins de deux minutes.

L'urine à analyser est placée dans la boule C, l'hypobromite de soude

en B. Il suffit de faire basculer l'appareil pour que les deux liquides se mélangent et pour que la réaction ait lieu. Le gaz dégagé est mesuré sur



l'eau, dans une cloche où l'affleurement naturel du liquide marque le 0°. Des tables faites d'avance donnent immédiatement la correction de la température.

77. — Appareils destinés à la production des gaz purs et aux analyses eudiométriques.

(En commun avec M. Jolyet.)

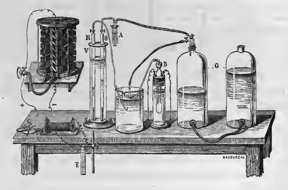
(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Nous avons voulu dans nos diverses expériences introduire un nouvel élément de précision qui avait été négligé par la plupart des auteurs qui se sont occupés jusqu'à présent de la chimie de la respiration.

L'oxygène que l'on obtient par les procédés ordinaires et même celui fourni par la décomposition du chlorate de potasse contiennent presque toujours quelques centièmes d'azote dont il est très difficile de les débarrasser. Sans doute, on peut, par une analyse préalable, tenir compte de cette cause d'erreur, mais c'est encore une inconnue que l'on introduit dans le problème, et dans l'analyse même qui a pour but de la faire disparaître il peut survenir des imperfections de lecture qui produisent un résultat d'autant plus fâcheux que l'on multiplie l'erreur donnée par l'eudiomètre.

Une idée fort simple par elle-même, mais qui nous a offert quelques difficultés dans la pratique, a été de préparer l'oxygène pur au moyen de la décomposition de l'eau par l'électricité.

Nous avons dû chercher tout d'abord une pile qui donnât un courant constant et durable. Les piles de Bunsen ne pouvaient nous servir, car notre appareil devait fournir de grandes quantités d'oxygène et fonctionner d'une manière continue pendant des mois. Les piles de Daniell ne nous ont pas donné un courant assez intense. Nous avons alors employé la pile thermo-électrique de Clamon, utilisée depuis quelque temps dans les usines de



galvanoplastie. Cette pile peut fonctionner indéfiniment sans qu'on s'en occupe, et de fait la nôtre, composée de 100 couples, a pu, pendant près d'une année, nous donner chaque jour 4 litres d'oxygène pur pour nos expériences.

Les deux pôles de la pile sont en rapport avec un distributeur C, grâce auquel nous pouvons envoyer le courant aux divers travaux du laboratoire. De ce distributeur partent, en effet, des fils qui, passant au-dessous de la table, se rendent au grand voltamètre V. Le vase est rempli d'eau distillée bouillie, mélangée d'un quart de son volume d'acide sulfurique pur. L'hydrogène se dégage dans la cloche H, et de là il est conduit dans une cuve à eau où on peut le recueillir pour effectuer les analyses eudiomé-

triques. Quant à l'oxygène, il se dégage en O, traverse le tube A rempli de peroxyde de plomb au contact duquel il se dépouille de son ozone, se rend dans le grand gazomètre G rempli d'une solution saturée de chlorure de calcium et s'y emmagasine. On l'en extrait par un tube abducteur qui se rend dans la cuve à eau dont nous avons déjà parlé.

Le courant de la pile nous sert encore à d'autres usages. C'est ainsi que, par un simple tour du distributeur, nous l'envoyons dans le fil d'une bubine d'induction qui nous permet de produire l'explosion dans nos eudiomètres. Enfin l'on sait combien est souvent nécessaire l'emploi des deux gaz de la pile pour provoquer ou compléter une explosion de mélanges pauvres en gaz détonants. Aussi avons-nous joint à notre appareil un voltamètre B donnant les deux gaz de la pile réunis, voltamètre que nous pouvons également mettre en action par un simple muuvement du distributeur C.

Il y a là, on le voit, toute une installation permettant les analyses eudiométriques les plus précises. Nous avons cru devoir la décrire en détail pour éclairer le lecteur sur la rigueur des procédés que nous avons employés dans nos expériences sur la respiration des animaux. — Depuis 1876, nous avons fait une installatiou du même genre, mais beaucoup plus grande, à la nouvelle Sorbonne. Nous nous servons d'une dynamo qui donne des quantités de gaz bien supérieures.

78. — Sur un voltamètre enregistreur.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1888.)

Cet appareil n'est, en somme, qu'un compteur enregistreur des gaz d'une sensibilité très grande, puisqu'il accuse facilement des dégagements qui ne dépassent pas un dixième de centimètre cube à l'heure et que cette sensibilité, qui nous suffit amplement, pourrait encore être considérablement augmentée si nous y tenions.

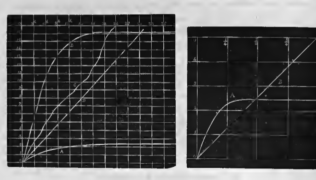
Or, rien n'est plus simple que de recevoir dans ce compteur les gaz qui se dégagent par l'électrolyse de l'eau et, comme il est démontré que la quantité de ces gaz est proportionnelle à l'intensité du courant d'une source, notre appareil devient facilement un enregistreur de l'intensité du courant.

Pour y arriver nous ne changeons rien au dispositif que nous avons

décrit pour la fermentation; nous remplaçons simplement par la douille de la cloche d'un voltamètre notre flacon à fermentation. Les lames du voltamètre ordinaire sont remplacées par des fils fins et l'acide sulfurique par de l'acide phosphorique.

Dans ces conditions, les gaz réunis, hydrogène et oxygène, qui se dégagent, viennent agir exactement comme l'acide carbonique du flacon à fermentation.

C'est en procédant de la sorte que nous avons recueilli un certain nombre de tracés.



L'un représente la marche de l'intensité de quatre sources électriques, fréquemment employées dans les laboratoires ou l'industrie.

Après avoir étudié le courant des piles, nous nous sommes adressé aux accumulateurs.

La figure 2 représente le tracé que nous avons alors obtenu.

En B se trouve le graphique de la charge de l'accumulateur; le voltamètre avait été mis sur le trajet du courant allant de la pile Clammond aux accumulateurs. Ceux-ci étaient du type Planté et au nombre de deux.

Mis en décharge sur le voltamètre, ils ont fourni le tracé A qui nous montre pendant dix minutes une très grande intensité, laquelle va décroissant à ce point qu'après le premier quart d'heure elle est presque tombée à zéro.

Notre mémoire contient un certain nombre d'autres tracés montrant la marche des courants de décharge en court circuit ou sur des résistances.

79. — Procédé nouveau pour la photographie microscopique.

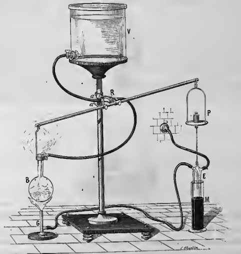
(*Société de biologie*, 1880.)

Nous avons présenté à la Société de biologie un atlas complet de moelles photographiées par un procédé nouveau. Abandonnant le collodion, nous le remplacions par une solution albumineuse. La pose est courte et les images sont très fines. La gélatine a, depuis, dépassé beaucoup notre méthode.

80. — Sur un évaporateur automatique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1894.)

On a souvent besoin d'évaporer de grandes quantités de liquides dans



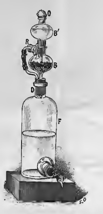
un très petit vase, ce qui nécessite une surveillance continuelle. Nous avons

imaginé un appareil automatique où la diminution de poids du ballon évaporateur ouvre le robinet qui y laisse rentrer le liquide. A la fin, quand le liquide va manquer définitivement, la diminution de poids fait plonger dans du mercure une clochette par où passe le gaz qui produit l'évaporation. L'extinction se produit et l'opération s'arrête spontanément, ce qui fait qu'on peut sans danger laisser l'opération se continuer pendant la nuit.

81. — Sur un dispositif permettant de maintenir des liqueurs titrées en vidange hors du contact de l'air.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1894.)

On a souvent besoin de maintenir des liqueurs titrées alcalines hors du contact de l'air dont elles absorberaient l'acide carbonique. D'autres fois c'est l'oxygène même qui les détitrerait et la simple ouverture du flacon



suffirait pour produire ce résultat. Nous employons dans notre laboratoire des flacons dont le bouchon hermétique est surmonté d'un minuscule appareil à production constante d'hydrogène pur qui vient prendre la place du liquide au fur et à mesure qu'on le soutire par en bas. Ce dernier n'est donc jamais en contact avec l'atmosphère.

82. — Lampes à signaux par éclairs magnésiques.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1889.)

La visibilité d'un point ne tient pas seulement à son éclat mais aussi à sa dimension, car celle-ci règle l'angle qu'il soustend sur notre rétine. C'est à cause de cela que l'arc électrique avec toute son intensité n'est pas visible de très loin, surtout dans le brouillard. C'est en nous appuyant sur ce principe que nous avons proposé d'utiliser pour les signaux à grande distance l'éclair magnésique qui a une intensité comparable à l'arc et qui se développe sur une surface infiniment plus grande.

83. — Sur un nouvel appareil de projection.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1894.)

L'appareil que nous avons fait fonctionner d'abord devant la Société de biologie, puis devant la Société de physique, avait pour but de projeter devant un grand auditoire non pas les images des objets mais les objets eux-mêmes. C'est en résumé une modification du mégascope de Charles permettant de l'appliquer aux cours de physiologie.

84. — Régulateur de température fonctionnant sans le secours du gaz d'éclairage.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1882. Voyez aussi *la Nature* du 8 juillet.)

Dans un bain d'eau plonge un thermomètre électrique, c'est-à-dire un thermomètre ouvert par en haut, dans le tube duquel pénètre un fil de platine très fin qu'on peut élever ou abaisser et arrêter définitivement devant un degré quelconque de la division. Le mercure de la boule du thermomètre est en communication par un fil soudé dans le verre avec le pôle d'une pile Leclanché ou Daniell. Le fil de platine supérieur étant en rapport avec l'autre pôle, dès que le mercure, en se dilatant, viendra toucher ce pôle, le

courant sera fermé : on pourra faire fermer le courant à telle division que l'on voudra.

Sur le trajet de ce courant se trouve un électro-aimant dont la palette, munie d'un long levier, porte une lampe à essence de pétrole. Quand le courant ne passe pas, cette lampe est placée sous l'étuve; dès que le courant passe, la palette de l'électro-aimant est attirée, et la lampe entraînée au loin. L'étuve ne chauffe donc plus. Presque aussitôt, le thermomètre se refroidissant, la colonne mercurielle quitte le curseur de platine. Aussitôt le courant est rompu, l'électro-aimant est inactif, et un ressort antagoniste ramène la lampe à pétrole sous l'étuve, et ainsi de suite indéfiniment.

On voit que la température de l'étuve ne saurait varier, puisque, dès qu'elle s'élève, la source de la chaleur est enlevée; dès qu'elle s'abaisse, la source de chaleur est ramenée. Cette étuve, comme une autre que nous avons déjà fait connaître, a encore l'avantage d'être instantanément réglée à telle température que l'on désire, puisqu'il suffit pour cela d'amener d'un coup le fil de platine au-devant du degré que l'on veut avoir.

85. — Sur un Diffusiographe.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1889.)

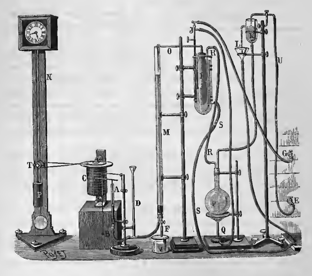
Pour qu'un osmographe soit tout à fait exact il faut : 1° que la surface membraneuse par laquelle se fait la diffusion soit toujours identique en épaisseur et en surface; 2° que la pression dans l'appareil ne varie jamais; 3° que la température à laquelle se passe le phénomène ne change pas, excepté bien entendu dans les cas où on recherche l'influence de ses variations.

Nous avons résolu ces divers problèmes de la façon suivante :

1° La surface diffusante est formée par un cæcum de mouton I, qui demeure indéfiniment dans l'appareil. Pour empêcher sa putréfaction, nous mettons dans le liquide qu'il contient une quantité très faible d'acide salicylique qui le conserve et qui, vu sa masse infinitésimale, ne trouble pas visiblement les phénomène à étudier. Nous nous en sommes assuré par expérience. C'est donc toujours le même diaphragme membraneux qui sépare nos liquides diffusants.

A sa partie supérieure, le sac I est fermé par un bouchon de caoutchouc que traverse un tube recourbé O.

Ce tube étant horizontal, la pression n'augmente pas quand le liquide endosmosé s'y accumule. Finalement le tube O aboutit au sommet ouvert



d'un grand cylindre M où il déverse le liquide au fur et à mesure que celui-ci s'osmose.

Ce tube M communique par un caoutchouc avec un tube beaucoup plus petit en section et en hauteur A. La partie inférieure de M et de A est remplie de mercure. Et sur la surface de ce métal se trouve en A un flotteur en fer muni d'un style qui frotte lui-même sur un cylindre C enduit de noir de fumée et recouvert d'un tracé d'abscisses et d'ordonnées.

Le cylindre tourne, mû par une horloge du modèle que j'ai autrefois imaginé et que j'ai déjà décrit.

Il est évident que quand en M il se déverse une colonne de liquide osmosé, cette colonne vient presser sur le mercure qui monte en A d'une quantité proportionnelle, mais treize fois et demie plus faible. La course du style et le tracé qu'il laisse sur le cylindre sont donc proportionnels (bien que réduits) à la quantité de liquide diffusé.

Voilà le principe. Maintenant il a fallu ajouter quelques détails pour assurer les conditions de précision que je signalais au début de cette note.

Ainsi il faut pouvoir faire varier la quantité de mercure qui existe au fond de M et de A, afin d'amener le style sur celle des abscisses que l'on prend comme début du tracé. Pour cela on a disposé l'entonnoir D. Si au contraire on veut enlever du mercure ou vider l'appareil après l'expérience faite, on le peut facilement par le robinet F. Pour que la pression soit toujours la même en I et que, d'autre part, le courant exosmotique puisse être négligé, on fait passer dans le vase où plonge le sac de baudruche un courant d'eau continuel.

Cette eau vient de E; elle va dans un réservoir K à niveau constant dont le trop-plein se déverse en L. De cette façon l'intensité du courant d'eau qui circule autour de I est indépendante de la pression sans cesse variable de l'eau de la ville.

De plus, il faut que ce courant d'eau soit toujours à la même température. Pour y arriver nous le faisons partir de K, et, avant qu'il arrive en I, il traverse un ballon P, placé au-dessus d'un bec Bunsen Q. L'eau quitte ce ballon par R, se rend autour d'I et revient par S pour se déverser et se perdre. Or en I se trouve le thermostat J qui tient ce courant d'eau à une température invariable.

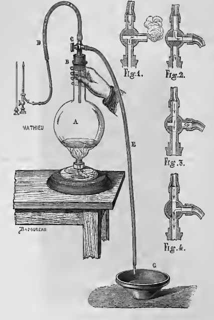
86. — Note sur un nouvel instrument pour l'aspiration des liquides pathologiques contenus dans les cavités naturelles ou accidentelles.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1872. Académie de médecine, 1872.)

Au moment où survint à l'Académie de médecine la discussion sur la thoracentèse, nous avons proposé un dispositif fort simple, qui permettait d'improviser partout la ponction capillaire.

Un ballon terminé par un robinet contient quelques gouttes d'eau. On

les porte à l'ébullition ; la vapeur chasse l'air. On ferme le robinet : la vapeur



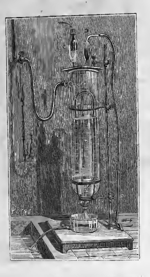
se condense et le vide est fait. Il suffit d'armer ce ballon d'un trocart capillaire pour être en possession d'un appareil simple qui réalise les conditions du vide préalable.

87. — Sur un appareil destiné à pratiquer la respiration artificielle.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

Les moyens qui sont à notre disposition aujourd'hui pour réaliser cette respiration sont très compliqués. Ou bien il faut tourner à la main la mani-

velle d'un soufflet, ce qui nécessite un aide uniquement occupé à cette opération, ou bien on se sert d'une machine à eau coûteuse et ne fonctionnant que sous une très forte pression. Il résulte de là que beaucoup de laboratoires, surtout en province, où la pression manque, sont complètement privés des moyens de faire facilement la respiration artificielle.



Mon appareil fonctionne simplement avec un courant d'eau sans pression, il dépense fort peu et coûte si bon marché que chacun peut le fabriquer dans son laboratoire.

Il se compose d'un vase conique A, fermé en haut par une plaque rodée, maintenue bien appliquée par une vis de pression. Dans l'intérieur de ce vase plonge un tube de verre en communication par un caoutchouc avec le robinet d'eau. Dans l'appareil se trouve un second tube B très large, ayant la forme d'un siphon de vase de Tantale. Ce gros tube B traverse un bou-

chou de caoutchouc qui ferme en bas l'appareil A; il aboutit à un vase quelconque E, où l'eau se déversera tout à l'heure.

La plaque supérieure est percée de deux trous. Dans l'un est luté un tube de verre C, où se trouve une soupape de caoutchouc; dans l'autre est enfoncé le tube D, muni d'une soupape inverse de la première.

Voici comment fonctionne l'appareil : on ouvre le robinet d'eau. Celle-ci pénètre dans le vase A, elle le remplit et chasse l'air de la soupape D et le tube F jusque dans le poumon de l'animal en expérience. Puis, dès que l'eau arrive à la crosse du tube B, le siphon de Tantale que constitue ce tube s'amorce, et, comme ce tube B est trois fois plus gros que le conduit de l'eau, le vase se vide très rapidement, bien que l'eau continue à y entrer.

Cette évacuation produit une aspiration, fait pénétrer de l'air par la soupape C.

Quand l'eau arrive en bas du tube B, le siphon se désamorce.

Immédiatement, le vase se met à se remplir de nouveau en produisant l'insufflation, et cela se reproduit ainsi indéfiniment sans qu'on s'en occupe et avec une rapidité qui varie suivant la quantité dont on a ouvert le robinet d'eau.

L'appareil peut encore servir à ventiler des aquariums d'eau de mer.

88. — Sur une lampe à incandescence sans gaz ni électricité.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882. Voyez aussi *la Nature*, 8 avril 1882.)

J'ai eu l'idée, pour avoir une lumière vive, de faire brûler sur une toile métallique en platine un mélange d'air et de vapeur de pétrole.

Il en résulte une chaleur intense qui porte au blanc les fils de platine; de là une lumière égale à la moitié environ de la lumière oxhydrique.

L'appareil est très simple; c'est un bec de Bunsen ordinaire, terminé par une petite cage en fil de platine. Au lieu d'envoyer du gaz dans ce bec Bunsen, on y fait arriver un mélange d'air et de vapeur de pétrole suivant le procédé connu depuis longtemps et utilisé récemment par les nombreux inventeurs de thermocautères. Un simple soufflet de cuisine à deux vents ou une poire de Richardson sont très suffisants pour provoquer ce courant d'air.

Pour diriger toute la lumière dans un seul sens, on peut recouvrir le bec Bunsen d'un ajutage ayant la forme d'un pavillon de trompette fermé préci-

sément par un treillis de platine. Il suffit de régler par l'anneau du bec Bunsen l'arrivée du mélange d'air et de vapeur pour avoir, tout le temps qu'on souffle, une lumière extrêmement vive.

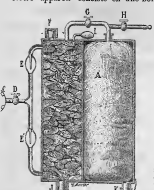
Si, au lieu de se servir d'un soufflet, on envoie le courant d'air par un ventilateur ou une trompe, on peut alimenter un nombre considérable de becs et éclairer, avec une lumière qui a l'aspect et la puissance des lampes électriques à incandescence, des salles, des usines, etc., dans les pays où le gaz n'existe pas. Mon appareil dérive du bec Bourbouze, mais il a sur lui cette supériorité qu'il n'exige pas de gaz d'éclairage.

Il pourra servir aux médecins pour les examens laryngoscopiques et otoscopiques. Il a encore un avantage appréciable : il ne coûte presque rien et ne dépense que quelques centimes par heure quand il fonctionne au *maximum*. Cet appareil d'éclairage est très antérieur au bec Auer.

89. — Sur un nouvel appareil respiratoire pour le sauvetage dans les mines et dans les incendies.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

Notre appareil consiste en une boîte de zinc légère divisée en deux compartiments.



Dans l'un est un sac rempli d'oxygène que le métal empêche de diffuser. Dans l'autre se trouve de la ponce imbibée de potasse caustique. Quand on respire dans l'appareil, l'acide carbonique est absorbé par la potasse, et l'oxygène remplace à mesure celui qui est consommé. La provision dure deux heures.

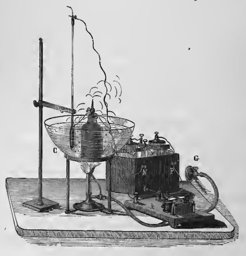
Des expériences ont été faites avec succès dans les caves de l'École des mines par la Commission du grisou.

90. — Nouveau thermostat.

(Comptes rendus de la Société de biologie, 1878.)

Les meilleurs régulateurs d'étuves (Schlœsing, Friedel) demandent plusieurs heures pour être fixés à un degré convenu.

Nous avons donc imaginé une disposition spéciale que nous décrirons



ici parce qu'elle est commode et qu'elle pourra servir aux personnes qui auraient à réaliser les conditions que nous étions obligé de subir.

Une grande capsule est remplie d'eau. Au-dessous se trouve placé un bec de gaz. Le gaz arrive à ce bec par un tube en caoutchouc. Dans un point de son trajet, ce tube est fermé par deux très minces lamelles de caoutchouc, collées sur les bords. La plus légère compression sur ces lamelles empêche le passage du gaz et éteint le bec. Or, justement au-dessus d'elles se trouve un couteau d'acier E, qui peut être vivement abaissé par un électro-aimant et produire la compression nécessaire pour arrêter le gaz.

L'électro-aimant est actionné de la manière suivante :

Dans l'eau de la capsule C plonge un thermomètre ouvert à l'une de ses extrémités. Cette ouverture donne passage à un fil de platine que l'on peut descendre ou remonter dans l'intérieur du thermomètre, et que l'on peut, par conséquent, arrêter en face du degré que l'on veut. Dans le réservoir du thermomètre est, d'autre part, soudé un fil de platine noyé dans le mercure. Deux éléments de Leclanché sont mis en rapport avec l'électro-aimant, de telle sorte que le courant est interrompu seulement entre la tige de platine et la colonne de mercure. Si le bain C s'échauffe, le mercure monte dans le thermomètre, et, quand il arrive au degré où on a arrêté la tige, le courant s'établit, l'électro-aimant entre en action et éteint le gaz. La température est réglée. En effet, si peu qu'elle diminue, le mercure quitte la tige de platine, l'électro-aimant se relève, le gaz passe, se rallume au petit bec de sûreté et le bain se réchauffe, mais immédiatement le mercure remonte et éteint le feu dès que la température voulue est de nouveau atteinte. D'où une série de mouvements du gaz qui font que le bain ne change pas de température.

Principal avantage : réglage instantané et sans tâtonnements de la température de l'étuve C. Deuxième bénéfice : si on veut changer le degré, il suffit de faire mouvoir la tige de platine et de l'amener en face de la graduation du thermomètre pour que, *quelques minutes* après (2 ou 3 au plus), l'étuve soit réglée à un degré nouveau.

91. — Sur un dispositif donnant des piles à forte tension, à longue durée, à grande constance et exemptes de polarisation.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

La pile dont il s'agit est une simple pile Bunsen pour le dispositif; on y retrouve le charbon, le zinc, le vase poreux, etc.; pour la réaliser, il n'y a aucune modification à faire subir au dispositif ordinaire; seuls les liquides sont changés.

Dans le vase extérieur on met une solution concentrée et un excès de bisulfate de mercure; dans le vase poreux une dissolution de bi-azotate de mercure et un excès de ce sel : les deux acides de l'élément Bunsen sont donc remplacés par leur sel de mercure en excès. Le Bunsen se met alors à

fonctionner comme un Daniell, il en prend toutes les qualités, mais il a un grand avantage sur lui. Ce n'est pas du cuivre qui se dépose dans les deux vases, c'est du mercure. On sait que, dans les Daniell, le cuivre passe dans le vase extérieur pendant les repos de la pile, recouvre le zinc et forme des courants inverses; le cuivre se dépose aussi dans les mailles du vase poreux et le met rapidement hors d'usage. De plus, le sulfate de cuivre du vase poreux est un liquide grimpant qui passe par-dessus ce vase et vient se mélanger avec le sulfate de zinc. Rien de pareil n'a lieu avec l'élément au mercure. Si ce métal se dépose sur le zinc, il ne fait que l'amalgamer et rendre le courant plus constant; le mélange des deux liquides n'est plus un inconvénient. Si le mercure se dépose sur le vase poreux, il tombe bientôt au fond et n'encrasse pas ce vase.

Enfin l'excès de sulfate et de nitrate de mercure se dissolvant à mesure de l'usure de la partie déjà dissoute et les liquides demeurant toujours concentrés, la pile demeure d'une constance parfaite tant qu'il y a excès de sels.

92. — Piles constantes et graduées à courants trés faibles, destinées à reproduire les phénoménes de la métallothérapie.

(En commun avec M. G. Trouvé.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie* et *Rapports de la Commission du prix Godard pour 1877.*)

Ces piles sont formées de petits disques de papier buvard imprégnés les uns de sulfate de cuivre, les autres de sulfate de zinc. Ils n'ont que quelques millimètres de diamètre et sont contenus dans un tube de verre. Ils constituent une pile très faible qui reproduit tous les effets de la métallothérapie.

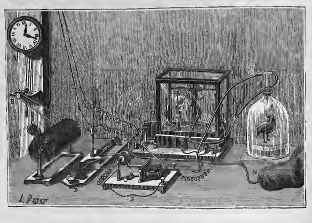
93. — Sur un appareil destiné à enregistrer la marche de la consommation d'oxygène par la respiration d'un animal.

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1882.)

Cet appareil n'est qu'une légère modification de l'appareil qui nous sert à enregistrer les phénomènes de la fermentation. L'appareil inscripteur reste absolument le même. Il n'y a de changé que la manière dont le courant électrique est fermé.

Dans la cloche P se trouve l'animal en expérience. Il est placé sur un grillage au-dessous duquel se trouve un vase L, rempli d'une solution de potasse caustique très concentrée.

A mesure que l'animal produit de l'acide carbonique, cet acide carbonique se dissout dans la potasse L : il en résulte une dépression dans la cloche P. Le flotteur du manomètre J s'abaisse, et un fil de platine z, placé à côté, vient plonger dans le mercure O. Immédiatement le déclanchement de



l'appareil a eu lieu comme précédemment, le style avance d'un degré, la clochette H se soulève et laisse entrer dans la cloche P non pas de l'air, mais de l'oxygène pur contenu en N. L'atmosphère de la cloche P se trouve ainsi reconstituée et demeure normale. Le style enregistre les quantités toujours égales d'oxygène qui restent dans la cloche à chaque diminution égale de la pression. La courbe tracée sur le cylindre est donc bien la représentation de la respiration de l'animal.

Nous nous sommes arrêté à cette forme un peu compliquée d'appareil, toutes les autres méthodes que nous avons précédemment essayées (enregistrement de la pression produite, des mouvements d'un gazomètre, de

l'écoulement d'un liquide, numération des bulles gazeuses, etc.) ne nous ayant donné que des résultats peu exacts ou des courbes qui n'étaient pas l'expression de la réalité et qui avaient besoin d'être interprétées.

94. — Recherches sur les causes de la mort par le charbon.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Nos recherches sur la respiration nous ont montré que chez les animaux charbonneux les échanges étaient diminués. Cela peut tenir soit à la spoliation de l'oxygène par les bactéridies, comme l'a pensé Pasteur, soit à des embolies bactéridiennes fermant les vaisseaux du poumon et diminuant le champ de l'hématose, soit à la consommation même de l'oxygène par la combustion des produits éminemment oxydables que secrètent les microbes.

95. — Un cas de charbon observé à l'Hôtel-Dieu. Analyse des produits de la respiration.

(En commun avec M. Routier.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1877.)

Il s'agit d'un homme qui succomba en vingt-quatre heures au charbon. Le sang était absolument rempli de bactéries. Il fut possible de recueillir les gaz de la respiration. La température était à 33°. Le malade absorbait en une heure 7 litres 924 d'oxygène et rendait 6 litres 300 d'acide carbonique. $\frac{CO^2}{O} = 0{,}82$.

96. — Influence sur la capacité respiratoire du sang des produits extractifs de l'urine.

(En commun avec M. Cuffer.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1877.)

Les matières extractives de l'urine, créatine, créatinine, carbonate d'ammoniaque, diminuent beaucoup le pouvoir absorbant de l'hémoglobine. La chose a été constatée *in vitro*, et par injections dans le torrent circulatoire.

La diminution des combustions et l'abaissement du pouvoir absorbant du sang dans la néphrite interstitielle pourraient tenir à cette cause.

97. — Influence de l'intoxication par la nitro-glycérine sur la respiration.

(En commun avec M. Jolyet.)

(Voyez *thèse* de M. Bruel, Paris, 1876, et *Société de biologie,* la même année.)

Il arrive souvent des accidents de nature asphyxique dans les fabriques de dynamite. Cela est dû à l'influence de la nitro-glycérine, qui agit à très peu près comme le nitrite d'amyle, et qui transforme l'hémoglobine en méthémoglobine.

98. — Influence de l'hémorragie sur la respiration.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1876.)

Un chien de 6 kilogr. ayant subi une hémorragie de 250 gr. voit l'intensité de sa respiration diminuer de moitié après cette perte de sang.

99. — Influence de l'intoxication par l'acide phénique sur la respiration.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1876.)

Nos expériences démontrent que l'intoxication par l'acide phénique amène des convulsions cloniques intenses et augmente considérablement les combustions respiratoires. Un exemple le prouvera.

Un chien de 13 kilogr. en une heure

absorbe.	9 litres 377	d'oxygène
et exhale.	7 — 200	CO^2

Le même, intoxiqué, dans le même temps

absorbe.	41 litres 472	d'oxygène
et exhale.	29 — 820	CO^2

La température est montée à 41°.

100. — Respiration des animaux curarisés comparée à celle des mêmes animaux après section du bulbe.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

L'acide carbonique excrété et l'oxygène absorbé par les animaux curarisés sont moindres que chez les animaux dont le bulbe est sectionné. Il y a pourtant chez les deux une immobilité absolue. La différence doit tenir à l'absence d'action de la moelle sur les muscles des premiers.

101. — De l'influence des battements du cœur sur le poumon. — Recherches expérimentales sur la cause des souffles extra-cardiaques.

(*Revue mensuelle de médecine et de chirurgie*, mai 1876.)

Nous démontrons, dans ce mémoire, que le cœur, en battant, choque la lame précordiale et en expulse une certaine quantité d'air qu'on peut faire agir sur un polygraphe. On peut donc recueillir un tracé du cœur par la bouche ou par la trachée. En opérant sur des chiens curarisés, nous nous mettons à l'abri des causes d'erreur qui peuvent intervenir chez l'homme.

102. — Sur les lésions de la moelle épinière dans la maladie des plongeurs.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1881.)

On sait fort bien aujourd'hui ce qu'est le mal des plongeurs : il résulte du dégagement des gaz du sang au moment de la décompression. Ce dégagement est spécialement dangereux dans les centres nerveux, d'où la paraplégie très fréquente. Nous avons vu que dans ces cas, même après guérison (et cette terminaison est des plus rares), on rencontrait dans la moelle une grande quantité de foyers hémorragiques. Dans les autres points, les lésions sont celles de la myélite parenchymateuse.

103. — Sur la diminution de la sécrétion de l'urée dans un cas d'accès de fièvre intermittente due à la lithiase biliaire.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1873.)

Il s'agissait d'un malade qui, de temps en temps, présentait de grands accès de fièvre portant la température vers 40°. Quand on analysait l'urée rendue ces jours-là par le malade, on la trouvait singulièrement diminuée. En revanche, on voyait apparaître la leucine et la tyrosine dans l'urine. Ces accès étaient accompagnés d'ictère. A l'autopsie, on trouva les conduits biliaires obstrués par une véritable boue calculeuse.

Dans les réflexions qui accompagnent notre observation, nous faisons remarquer qu'il doit y avoir une corrélation entre la formation de l'urée et l'intégrité des fonctions hépatiques.

Cette observation a été reproduite tout au long dans le livre du professeur Charcot sur les maladies du foie, avec la planche qui montre les divergences entre la température et le taux de l'urée.

Elle a été également reproduite par le professeur Brouardel dans son mémoire sur la fonction uropoiétique du foie.

104. — Actions des courants électriques très faibles sur l'anesthésie hystérique.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1877.)

Quand Burq eut soumis à la Société de biologie ses expériences sur l'action des métaux en application extérieure, la Société nomma une commission chargée de contrôler les faits et d'en chercher l'explication scientifique.

Adjoint à cette commission, nous avons pensé que les actions métallothérapiques étaient le résultat de courants capillaires.

Les questions qui nous étaient posées étaient les suivantes :

A. — Dans l'application des plaques métalliques sur la peau, se développe-t-il des courants ?

B. — Des courants produits d'autre part et égaux en intensité à ceux que produisent les plaques peuvent-ils amener les résultats de la métallothérapie ?

C. — Pourquoi certaines malades sont-elles impressionnées par l'or, qui donne un courant très faible, et ne le sont-elles pas par le cuivre, qui donne un courant beaucoup plus intense?

A. — Sur la première question, nous avons démontré que les pièces métalliques étaient attaquées par la sueur et qu'elles donnaient un courant très appréciable au galvanomètre de Dubois-Raymond.

B. — Sur la seconde question, nous avons répondu en nous servant d'une pile très faible et en interposant dans son circuit le malade et le galvanomètre. En amenant par un rhéostat l'intensité du courant à celle que donnaient les plaques métalliques, nous avons reproduit tous les phénomènes de la métallothérapie, le retour de la sensibilité, le transfert, les oscillations.

C. — Sur la troisième question, nous avons démontré que certaines intensités étaient inactives sur certaines malades et qu'il y avait une proportionnalité entre les intensités de courants et l'action esthésiogène des plaques.

105. — Action des courants faibles sur la sensibilité. Points neutres.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1877.)

Il y a dans l'échelle galvanométrique certains points, toujours les mêmes pour le même malade, où la sensibilité ne revient pas sous l'action du courant électrique, quelle que soit d'ailleurs la durée de l'application des pôles. Nous leur avons donné le nom de « points neutres », qui a l'avantage de constater le fait sans rien préjuger de sa nature. C'est à ce phénomène singulier que quelques personnes ont, depuis lors, donné quelquefois le nom d'interférence électrique de la sensibilité.

106. — Action des courants à distance (aimants, solénoïdes) sur l'hémianesthésie hystérique.

(En commun avec M. le Prof. Charcot.)

(*Progrès médical* et *Société de biologie,* 1878.)

Le bras anesthésié d'une hystérique est placé dans les spires d'un solénoïde. Rien ne se produit tant que le courant ne passe pas. Dès que le courant

passe, la sensibilité reparaît. La même chose a lieu quand on appproche un aimant, mais rien ne se passe si on approche un barreau de cuivre peint de la même couleur que l'aimant : ceci est la preuve que l'imagination n'est pour rien dans les phénomènes.

107. — Sur la nature de l'achromatopsie des hystériques.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1878.)

La plupart des hystériques voient le rouge et ne voient pas le vert. En revanche, si on fait tourner devant elles un disque de Newton vert et rouge, elles le voient blanc comme tout le monde. C'est donc que les vibrations vertes, même sans être aperçues, impressionnent leur cerveau. Leur achromatopsie est donc plutôt une absence de jugement qu'une absence de perception. C'est un phénomène cérébral et non un phénomène rétinien.

108. — Étude sur l'attaque hystéro-épileptique faite à l'aide de la méthode graphique.

1° *De la contraction musculaire pendant la période épileptoïde.*

2° *Arrêt des attaques par le courant interverti.*

(En commun avec M. Richer.)

(*Revue mensuelle de médecine et de chirurgie*, septembre 1878.)

On sait avec quelle étonnante brusquerie se passe l'attaque d'hystéro-épilepsie. Nous avons essayé d'en analyser les détails au moyen de la méthode graphique. Grâce aux myographes à transmission, la chose n'est pas aujourd'hui impossible, surtout pour la période épileptoïde. Dans la note dont il est ici question, nous commençons par donner la division des phases de l'attaque, telle qu'elle a été décrite par Charcot. C'est la première fois que parut cette division, tant reproduite depuis.

Puis, par une série de tracés, nous faisons connaître la marche de chaque phase. Ces tracés étaient donnés par un myographe attaché sur le bras et par deux pneumographes appliqués sur la poitrine. On avait donc par eux la représentation des deux phénomènes les plus marqués de l'attaque, le désordre de la contraction musculaire et celui de la respiration.

Ces tracés montrent l'attaque dans tous ses détails et en sont la véritable représentation graphique.

Nous terminons notre étude en montrant l'influence du courant électrique sur une attaque hystérique. Une commotion électrique arrête l'attaque d'un coup. Le passage dans n'importe quel sens du courant continu de 20 à 30 éléments Trouvé suspend les crises pendant un certain temps.

109. — Iconographie photographique de la Salpêtrière.

(En collaboration avec M. Bourneville, médecin de l'hospice de Bicêtre.)

(3 volumes in-4, Delahaye et Lecrosnier, éditeurs, avec 120 planches à part, 1re édition, Paris, 1876; 2e édition, Paris, 1877.)

L'idée qui a présidé à la rédaction de ce volumineux ouvrage est facile à comprendre. Il est intéressant aujourd'hui de conserver une preuve palpable des phénomènes que l'on a pu observer et que l'on décrit. Les progrès de la photographie, d'une part, et la facilité que l'on a aujourd'hui d'introduire sans retouche dans les ouvrages imprimés les résultats fournis directement par l'objectif, font qu'une tendance très nette s'est portée vers l'utilisation des clichés dans l'illustration des ouvrages de science. Il est bien certain aussi que la clinique a tout à gagner à la représentation exacte des malades jointe à l'observation écrite qu'en donne le médecin.

Les maladies nerveuses, les premières de toutes, donnent à ceux qui en sont frappés des aspects si caractéristiques, les lésions extérieures sont si nettes, souvent pathognomoniques, qu'il y a certainement intérêt à en mettre une exacte représentation sous les yeux du public savant.

C'est ce qu'ont pensé les deux auteurs quand ils ont entrepris la publication des observations recueillies dans le service de Charcot avec l'aspect du malade pendant ses attaques.

Ce genre de publication a un grand avantage : c'est d'être inattaquable quant à la véracité. Un dessin comporte toujours une part d'interprétation de la part de l'artiste, qui peut insister plus ou moins sur telle ou telle partie qui le frappe davantage ou qu'il veut même rendre plus frappante. L'objectif est brutal, mais incorruptible; il ne donne pas d'œuvres d'art, mais des œuvres vraies et indiscutables.

Pour mener à bonne fin un ouvrage d'aussi longue haleine, il fallait

d'abord l'aide et les encouragements du chef de service; Charcot ne les a pas ménagés. Il fallait ensuite un matériel compliqué. L'Assistance publique a fait construire un laboratoire et un atelier munis des perfectionnements que comporte la photographie instantanée. Nous avons fait reproduire par le procédé Poitevin sur la pierre lithographique les clichés que nous fournissaient nos appareils, et nous les avons joints aux observations recueillies dans le service.

Le premier volume de l'*Iconographie* est consacré à l'étude de l'hystérie et de l'*hystéro-épilepsie*.

Nous ne pouvons que résumer ici très rapidement les observations.

1° Thérèse L... Hystérie. Antécédents. Hémianesthésie. Hyperesthésie ovarienne. Attaques. Urines. Température. Traitement et marche des attaques. Relation entre les règles et les attaques. Tuberculose pulmonaire, son influence sur les attaques et sur les symptômes permanents de l'hystérie. Mort. Autopsie.

2° Rosalie Ler... Anesthésie. Attaques démoniaques. Crucifiement. Étude sur la démonomanie.

3° Madeleine W... Hystéro-épilepsie et épilepsie. Hémianesthésie. Attitude du crucifiement. Marche simultanée des deux maladies. Relation entre les règles et les crises convulsives. Étude sur les convulsionnaires de Saint-Médard.

4° Geneviève B... Hystéro-épilepsie. Léthargie. Tentative de suicide. Torticolis hystérique. Influence de la grossesse. Anesthésie générale. Ovarie. Contractures. Extases. Délire après l'attaque. Étude sur les extatiques.

5° Célina M... Hystéro-épilepsie. Hallucinations. Attaques avortées. Tympanisme. Troubles des sens spéciaux du côté gauche. Température comparative entre les mains et les aisselles. Lubricité. Crises cardiaques. Torticolis hystérique. Érythème. Contractures. Crampes. Ovarie double. Tremblement. Amaurose. Étude sur la métallothérapie.

Le second volume contient l'histoire de l'épilepsie partielle, des contractures post-hémiplégiques, de l'hémichorée, de l'athétose.

Une observation est en particulier entièrement consacrée aux troubles trophiques dans l'épilepsie partielle, à l'état des facultés intellectuelles.

Une autre donne des cas très nets d'épilepsie partielle tonique et d'épilepsie vibratoire.

Dans la deuxième partie du volume, nous revenons sur l'hystéro-épilepsie, et, dans quatre observations, nous nous occupons de la chorée rythmique.

Enfin pour terminer, et suivant notre habitude, nous comparons les cas anciens aux actuels; nous traitons de l'histoire des succubes et des incubes et en particulier de celle de Madeleine Bavent et de Madeleine de Cordoue.

Le troisième volume s'occupe d'abord du sommeil hystérique, des cauchemars, des rêves, des insomnies chez les mystiques, chez les idiots. Il y est ensuite traité de la léthargie et du somnambulisme naturel.

Ceci amène naturellement aux attaques de sommeil et de somnambulisme provoqué. Nous passons en revue tous les procédés employés pour amener cet état morbide. Nous donnons, avec figures à l'appui, l'histoire de tout ce qui s'est fait à la Salpêtrière à ce sujet.

Enfin, après un chapitre sur les zones hystérogènes et sur les diverses manières de provoquer l'attaque, nous terminons notre ouvrage par une étude générale sur le Sabbat, et nous l'accompagnons d'une série de vieilles gravures extraites des anciens auteurs.

La réunion des observations contenues dans l'*Iconographie* constitue donc un véritable traité des maladies du système nerveux, ou tout au moins de ce qu'on a découvert récemment sur ces affections à la Salpêtrière.

L'Académie des sciences a donné à cet ouvrage, en 1882, le prix Lallemand.

110. — De l'ischurie hystérique.

(En collaboration avec M. Bourneville.)

Brochure in-8, Delahaye, éditeur, Paris, 1876.

Il s'agit ici d'une des observations d'hystérie les plus complètes qu'on ait jamais publiées, puisqu'elle a duré neuf années. Nous nous attachons surtout à un symptôme très curieux, l'anurie hystérique.

On peut voir dans l'observation détaillée de la malade que, dès le début

de l'iscburie, on observa une sorte de compensation entre la suppression de la fonction urinaire et la production de vomissements abondants.

Cette compensation s'étendait à l'élimination de l'urée. Il se passait là ce qu'on voit chez l'animal à qui l'on a pratiqué la ligature de l'uretère et chez qui l'élimination de l'urée s'effectue par l'estomac et l'intestin. (Bernard et Bareswill.)

En se reportant aux *Leçons sur les maladies du système nerveux* de M. le professeur Charcot, on trouvera une suite de tableaux où sont consignés les résultats disséminés dans l'observation. J'en résume ici les traits principaux. En juillet 1871, la moyenne des vomissements est d'un litre par jour. *Deux* grammes d'urine sont excrétés chaque jour.

En août, les vomissements sont encore d'un litre par jour, la moyenne de l'urine est de 3 grammes. Il survient une anurie totale qui dure dix jours. Nous sommes ici dans les conditions physiologiques de la ligature des uretères.

En septembre, les vomissements ont pour moyeune un litre 1/2, l'urine 2gr 1/2.

Il y a, on le voit, balancement régulier entre les deux phénomènes, et cela est plus frappant encore à l'inspection des courbes. On voit, en effet, la ligne des vomissements s'élever quand s'abaisse celle de la sécrétion urinaire et réciproquement.

Ce qui était vrai pour l'élimination de l'eau l'était aussi pour l'excrétion de l'urée. Un jour (10 octobre) où l'urine contenait 179 milligrammes d'urée, les vomissements en contenaient 3gr,699. Or, cette urée s'amassait-elle dans le sang? Non, car le sang d'Etch... contenait exactement la même quantité d'urée que celui d'une de ses voisines de salle qui n'était point atteinte d'ischurie.

Après une rémission, une nouvelle période d'oligurie reparaît (janvier 1872); et ici nous remarquons un phénomène nouveau : c'est une sorte d'alternance entre l'anurie et de véritables crises de polyurie. Nous retrouvons ce fait plus marqué encore dans les jours qui précédèrent la guérison subite.

Pendant un espace de temps (janvier, octobre 1872), la moyenne des urines a été de 206 grammes, contenant 5 grammes d'urée; la moyenne des

vomissements était de 322 grammes, renfermant 2gr,138 d'urée. La compensation se produisait encore, mais le total était bien faible.

Etch... se trouvait dans une deuxième période d'anurie qui durait depuis le mois d'août 1874, quand M. Charcot nous a chargé de reprendre son étude.

Nous n'avons pas effectué moins de 112 dosages, dont nous avons représenté les résultats sur la courbe jointe à notre publication. Nous avons, de plus, recherché quelles étaient, dans le cas qui nous occupait, les variations des chlorures et de l'acide phosphorique. On verra plus loin les résultats auxquels nous sommes arrivés.

Nous nous trouvions dans des conditions spécialement favorables pour observer. On sait, en effet, combien il est difficile d'obtenir d'un malade qu'il conserve la totalité de ses urines. C'est pourtant une condition essentielle au succès, et on peut dire qu'en pratique elle n'est jamais réalisée. Or, Etch... était atteinte d'une contracture du col de la vessie qui obligeait à la sonder plusieurs fois par jour : elle était clouée sur son lit par la contracture de ses membres inférieurs, et il n'est jamais arrivé qu'on ait trouvé ses draps mouillés d'urine. Nous sommes donc certains d'avoir opéré sur la totalité du liquide sécrété.

Il existe encore une cause d'erreur considérable à laquelle sont forcés de se résigner tous ceux qui pratiquent sur des malades l'analyse de l'excrétion urinaire. — L'alimentation, plus ou moins azotée, a une influence évidente sur la quantité d'urée que l'on rencontre chaque jour. — Il faudrait donc soumettre le malade à une alimentation toujours identique. — Il suffit d'avoir fait à l'hôpital une pareille tentative pour savoir que la chose est absolument impraticable et pour en arriver à accepter cette cause d'erreur en la signalant plutôt que de se faire illusion.

Chez E..., il n'en était plus de même. Depuis plusieurs mois elle était atteinte d'une contracture œsophagienne qui l'empêchait d'avaler quoi que ce fût sans le secours de la sonde, et cette condition a duré jusque dans les derniers jours de nos recherches.

Nous avons donc pu peser très exactement et chaque jour les aliments ingérés et nous mettre à l'abri des variations qui auraient pu venir de l'alimentation.

En examinant la courbe qui représente l'ensemble de nos dosages, nous

voyons de suite qu'elle contient deux éléments. Pendant plusieurs jours, pendant des mois, l'excrétion se maintient aux environs de 0 : c'est de l'ischurie complète. Puis certains jours, la sécrétion monte tout d'un coup à des chiffres exagérés. Il semblerait qu'il se fait une décharge : le lendemain, le chiffre habituel reparaît. Enfin, une brusque élévation se produit et persiste; ce jour-là, la contracture a cessé et en même temps aussi l'ischurie.

Cette disposition nous permettra de diviser notre étude; nous examinerons l'ischurie d'abord, les crises urinaires ensuite, et enfin la période qui succéda à la guérison.

L'*ischurie* était presque absolue. Certains jours, la quantité d'eau est au voisinage de 0. Le plus souvent, l'excrétion est de 12 à 25 grammes. Et il n'y a pas lieu de s'en étonner, puisque la malade ne buvait pas un demi-litre de liquide par jour. L'exhalation pulmonaire et cutanée suffit pleinement à rendre compte de la différence entre l'eau absorbée et l'eau rendue.

Pour l'urée, la même explication ne saurait suffire. On voit, par exemple, qu'entre deux crises urinaires, pendant une période de vingt-quatre jours, E... rend une somme totale de 8^{gr},994 d'urée; pendant une autre période de quarante-cinq jours, elle en rend 8^{gr},131. La sécrétion ordinaire est, chez cette femme, de 3 ou 4 décigrammes par jour. Il faut donc que la nutrition soit profondément troublée.

Certains jours, la malade était prise d'une véritable crise. Elle souffrait de douleurs lombaires très vives, son visage était rouge, ses yeux larmoyants, elle s'agitait sur son lit, puis elle se mettait à uriner et rendant en quelques heures, quelquefois en quelques minutes, 2, 3 ou même 4 litres 1/2 d'urine, contenant 20, 25, 28 grammes d'urée. L'attaque était alors terminée et la sécrétion retombait à zéro.

Déjà, dans les deux premières périodes, de semblables crises s'étaient produites, en particulier en janvier 1872, le 18 mars, le 28 mars de la même année. Mais jamais elles n'avaient été aussi remarquables; jamais non plus l'analyse chimique n'avait été faite ces jours-là.

On remarquera qu'après ces crises l'action qui avait produit la décharge n'était pas absolument épuisée, car le surlendemain il se produisait toujours une élévation de l'urée, puis l'ischurie complète reparaissait.

Nous devons signaler ici un fait singulier, qui n'est peut-être que le produit du hasard. Si nous additionnons la quantité d'eau et d'urée excrétée

chaque jour entre chaque décharge, nous nous trouvons en face de ce bizarre résultat :

	Éau.	Urée.
Entre la 1re et la 2e décharge (24 jours).	408gr	8gr,299
Entre la 2e et la 3e décharge (45 jours).	499gr	8gr,131

Chiffres sensiblement égaux; en sorte qu'il semblerait que le temps écoulé depuis une crise était sans influence sur l'apparition de la suivante, et que tout dépendait de la quantité d'urée expulsée de l'économie.

Dès que l'ischurie hystérique lui fut cliniquement connue, la première idée qui vint à Charcot fut de chercher s'il n'existerait pas quelque voie de dérivation pour l'excrétion de l'urée. Les hystériques atteintes d'anurie vomissent. — E... vomissait, et l'on trouvait beaucoup d'urée dans ses vomissements. Un matin survient un fait remarquable. La malade guérit subitement de sa contracture, de son aphonie, de son amblyopie, etc. Jusqu'ici rien que de très normal; mais du même coup cesse l'ischurie. Pendant cette crise douloureuse qui produit la guérison, E... rend 43 grammes d'urine contenant 1gr,786 d'urée. Quelque temps avant, il lui fallut une semaine pour en sécréter autant; puis, dans la journée, elle rend 260 grammes d'urine contenant 6gr,489 d'urée; en tout 8gr 1/2 d'urée.

C'était, en réalité, une de ces crises urinaires que nous avions déjà observées. Mais au lieu qu'après ces dernières la sécrétion se supprimait de nouveau, nous la voyons se maintenir avec la guérison des autres symptômes, et dès lors commence une marche presque aussi extraordinaire que l'ischurie elle-même. Ainsi la courbe est formée de grandes élévations (28 grammes d'urée), suivies d'une chute brusque, précédée elle-même du petit crochet que nous avions vu déjà succéder aux crises urinaires; mais jamais nous ne revenons à 0. L'ischurie est bien terminée.

Il convient d'ailleurs de faire remarquer qu'à ce moment notre malade urinait sans la sonde, qu'elle mangeait beaucoup et même avec excès, et que, par conséquent, nos résultats n'ont plus la rigoureuse précision de ceux que nous avons exposés plus haut.

Nous avons voulu joindre à l'étude des variations de l'urée celle des variations des chlorures et de l'acide phosphorique.

Ces substances sont diminuées pendant l'ischurie, mais, toute proportion gardée, bien moins que l'urée, puisqu'on les trouve en quantité égale à celle-ci.

En revanche, les jours de crises urinaires, on voit que les courbes ne concordent plus : les substances salines sont peu augmentées, tandis que l'excrétion de l'urine subit une exagération rapide. L'élimination des chlorures et de l'acide phosphorique ne semble pas être en relation avec celle de l'eau.

En résumé, ischurie allant presque jusqu'à la suppression de la sécrétion, crises urinaires subites, guérison instantanée de l'ischurie en même temps que des autres phénomènes morbides, tel est l'ensemble de faits que nous avons pu observer sur notre malade.

Nous n'avons pas trouvé de cas où les recherches aient été suivies longtemps : les nôtres ont duré près de quatre mois ; la guérison est survenue sous nos yeux, et c'est de là que notre étude tire son principal intérêt.

Cette observation a été suivie d'un certain nombre d'autres, et aujourd'hui, grâce à Charcot, l'ischurie hystérique est parfaitement admise.

111. — Sur les variations des principes de l'urine dans la paralysie agitante.

(Note à la seconde édition des *Maladies du système nerveux* de M. Charcot.)

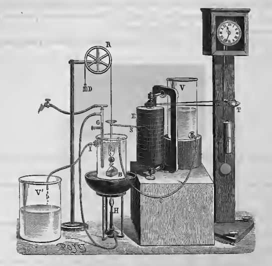
Des recherches ont été faites à ce point de vue par nous dans le laboratoire de la Sorbonne sur deux malades du service de Charcot. Chez toutes deux, l'urine contenait une proportion à peu près normale d'urée, mais une moindre proportion d'acide sulfurique qu'à l'état physiologique. La moyenne de 14 dosages a donné pour l'urée 19 gr. 50, et pour l'acide sulfurique, 1^{gr} 25 au lieu de 2 grammes. Il suit de ces analyses que l'excrétion des sulfates serait diminuée dans la paralysie agitante, contrairement à l'opinion avancée par Bence-Jones à propos de la chorée. D'ailleurs, dans cette affection même, Lehmann et Gruner ont toujours trouvé une diminution des sulfates. Vogel est arrivé, de son côté, au même résultat, et il pense qu'il faut attribuer les conclusions opposées de Bence-Jones à l'insuffisance du procédé d'analyse qu'il a employé.

112. — Enregistrement des phénomènes chimiques de la digestion.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1887.)

Pour arriver à enregistrer les phénomènes chimiques de la digestion, uous avons imaginé l'appareil ci-dessous.

Dans le vase B, on a placé une grande quantité de suc gastrique artifi-



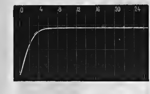
ciel, ou d'une infusion de pancréas, ou encore d'une solution de diastase de l'orge germée.

Le vase V, situé au-dessus, contient la même dissolution, qu'un tube C conduit lentement, goutte à goutte, dans le vase B. Au point I se trouve un trop-plein qui emmène l'excédent du liquide dans le vase V', situé au-dessous. Cette disposition a l'avantage de maintenir toujours constant le niveau du liquide dans le vase B, malgré l'influence de l'évaporation.

Cette évaporation est assez active, en effet, car le vase B plonge dans une grande capsule de porcelaine que chauffe le bec de gaz H. La température est maintenue constante à 38°, grâce au régulateur G. Nous nous trouvons donc dans les conditions ordinaires d'une digestion artificielle *in vitro*.

Dans le vase B plonge un aréomètre A, en verre, lesté par une boule remplie de mercure un peu trop lourde pour l'aréomètre. Le défaut d'équilibre est compensé par un contrepoids D, attaché à l'aréomètre par un fil de soie très léger et passant sur la poulie R. Tout est disposé pour que les frottements soient aussi réduits que possible.

Or, l'aréomètre est terminé à sa partie supérieure par un plateau où on



peut mettre les poids, de façon à le faire affleurer toujours au même point au début de chaque expérience. La tige située au-dessous est assez fine pour que de légères diminutions de poids amènent une élévation assez marquée. Au sommet, s'attache une tige en verre filé S qui va servir de style inscripteur.

D'autre part, à un crochet qui termine l'aréomètre se trouve suspendu un petit panier en treillis de platine dans lequel on met la substance sur laquelle on veut faire agir le suc digestif.

Il est évident que, pour des diminutions de poids égales de cette substance, il y aura des ascensions égales de l'aréomètre si la tige de celui-ci est cylindrique.

Le fait que le niveau et la température du liquide B sont toujours invariables enlève toutes les causes d'erreur possibles.

Il est facile d'imaginer, d'autre part, que, le style S frottant sur un cylindre enfumé E, mû par une horloge du système que nous avons imaginé et souvent publié, il sera facile de recueillir d'une façon permanente un

tracé qui représentera la diminution du poids de la substance attaquée par le suc digestif.

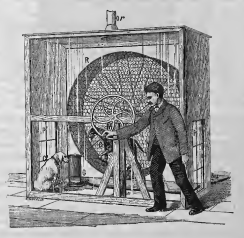
Nous ne pouvons donner toutes les courbes que nous a fournies cet appareil. Une seule, représentant l'attaque de la fibrine par le suc gastrique, montre que le phénomène se fait suivant une parabole. L'action des autres sucs est analogue.

113. — Recherches expérimentales sur la pathogénie du coup de chaleur.

(En commun avec M. Laveran.)

(*Comptes rendus de l'Académie de médecine*, 1894.)

Des animaux sont placés dans une étuve à 45° : les uns sont immobiles, les autres sont forcés de tourner dans une grande roue de fil de fer. Dans



ces conditions les animaux qui travaillent sont frappés du coup de chaleur bien avant que les autres soient même indisposés. Il résulte de plus de ces expériences que la myosine des muscles n'est pas coagulée, ni dans le

cœur, ni dans les muscles des membres; que le sang ne semble contenir aucune toxine, puisque, injecté à un autre animal, il ne le rend pas malade. Selon nous la chaleur agit directement sur les centres nerveux, et l'exercice augmentant précisément le degré thermique conduit par ce détour aux accidents du coup de chaleur.

114. — Effet des alternatives thermiques sur le système nerveux.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

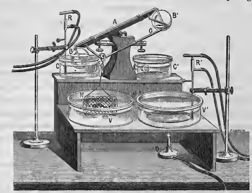
M. Laveran et moi nous avons pensé que dans le coup de chaleur l'action se portait directement sur l'élément nerveux et que la mort survenait par une hyperexcitation de celle-ci. Voici une expérience qui marche dans le même sens. Elle est faite sur des poissons, qui, comme chacun sait, sont d'une sensibilité extrême à un minime changement de température (5° environ). Nous nous servons d'un dispositif qui permet de faire passer successivement et un grand nombre de fois de suite un poisson d'un milieu froid à un milieu de 5° plus élevé.

En V se trouve un vase rempli d'eau à la température du laboratoire, en V' un vase absolument semblable qu'un thermostat entretient à une température de 10 degrés au-dessus grâce à la lampe D qu'il règle. Dans chacun de ces vases vit un Poisson que l'on n'a pas figuré pour simplifier le dessin. Immédiatement au-dessus se trouve une balancelle A qui porte deux systèmes : l'un est composé de deux boules BB' reliées ensemble par le tube A qui leur est soudé et qui pénètre jusqu'au fond de ces boules. Ce système est totalement vide d'air et rempli d'éther. Au-dessous se trouvent deux vases pleins d'eau dont l'un C est maintenu à 20° par le thermostat R, dont l'autre C' est à la température du laboratoire. Supposons l'appareil dans la situation où il est figuré. Tout l'éther est dans la boule B, qui plonge dans l'eau tiède; il se volatilise et la pression de sa vapeur fait lentement passer l'éther de la boule B dans la boule B'. Cette boule B' se trouve alors la plus lourde, l'appareil chavire et B sort de l'eau chaude pour passer dans l'air, pendant que B' tombe dans l'eau plus chaude que l'air. Alors, B' s'échauffant, l'éther repasse en B; l'appareil chavire de nouveau et ainsi de suite, indéfiniment.

Or sur la balancelle A se trouve attachée une glissière en cuivre C, sur

laquelle roule une poulie E qui porte, par un fil, une petite nasse en tulle à larges mailles N; dans cette nasse se trouve un Cyprin, animal qui supporte le mieux de tous les changements de température.

Le va-et-vient de la balancelle a pour effet un identique va-et-vient de la nasse d'un bout à l'autre de la glissière et il en résulte le passage suc-



cessif et régulier du Poisson de l'eau à 15° d'une part dans l'eau à 20° d'autre part.

Dans notre expérience ce passage avait lieu toutes les cinq minutes environ. Or, tandis que le Poisson qui vivait à 15° et celui qui vivait à 20° se portaient admirablement, celui que l'on faisait passer successivement d'une température à l'autre s'agitait vivement chaque fois que le passage avait eu lieu et finissait par succomber en peu de temps.

L'eau à 15° et l'eau à 20° n'était point nuisible aux deux témoins; l'alternative tuait l'animal en expérience, ce qui démontre bien que la mort survient en ce cas par une action directe sur le système nerveux.

115. — Influence du régime azoté sur la production de la laine.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Je me suis demandé si le régime azoté n'était pas capable d'augmenter le système pileux, qui contient lui-même tant d'azote.

Trois agneaux nourris au régime ordinaire m'ont donné 555 grammes de laine. Trois autres, nourris au régime sur-azoté, m'ont donné 1060 gr. Il y aurait intérêt à répéter cette expérience en grand.

116. — Note sur l'influence de l'alimentation sur-azotée chez les animaux de basse-cour.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

Expériences sur des canards. — J'ai pris des canards qui venaient de naître : je les ai divisés en deux lots. Le premier lot a été nourri avec la pâtée de farine de maïs et d'eau qui sert dans toutes les fermes; le deuxième lot a été nourri avec la même pâtée, plus du sang desséché dans les proportions de deux tiers de l'une et d'un tiers de l'autre. Tous mes canards du premier lot ont succombé au bout de quelque temps; tous ceux soumis à l'alimentation sur-azotée ont résisté, prospéré, et sont devenus énormes malgré les déplorables conditions climatériques dans lesquelles ils ont été élevés.

Expériences sur des poulets. — Les mêmes conditions climatériques fâcheuses qui m'ont nui dans mes expériences sur les canards sont intervenues dans mes recherches sur les poulets. Une couvée de race Houdan pure, composée de 10 poulets, a été divisée en deux classes nourries de la même manière que les canards : beaucoup d'animaux ont succombé, mais aucun parmi ceux qui étaient nourris au sang. Quelques-uns de ces poussins, âgés de trois mois, pesaient près d'un kilogramme.

Expériences sur des faisans. — Les recherches que j'ai faites sur les faisans seront, je crois, importantes si les résultats se confirment et se généralisent.

On sait qu'à l'état de poussin le faisan est carnivore; il se nourrit uniquement de larves de fourmis et d'insectes. Les propriétaires de faisanderies savent combien il est difficile de se procurer ces larves; il faut quelquefois aller les chercher à une grande distance; le prix de revient est énorme, c'est ce qui fait que l'élevage du faisan est un grand luxe. J'ai donné à de jeunes faisandeaux d'un mois la pâtée qui servait à mes canards et à mes poulets. Ils l'ont acceptée avec plaisir, et, pendant cinq mois, ont été uniquement nourris de cette manière.

117. — Recherches sur les résultats de l'alimentation azotée chez les herbivores.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1882.)

En nourrissant des agneaux orphelins avec du sang desséché après cuisson, nous avons réussi non seulement à les faire se passer de lait, mais à les amener à une taille considérable. En peu de mois ils ont triplé de poids.

118. — Sur l'absorption cutanée de l'iode chez les enfants.

(En commun avec M. Jules Simon.)

(*Société de biologie*, 1876.)

On fait souvent, chez les enfants strumeux ou teigneux, de grandes applications iodées. Il en résulte souvent des accidents d'iodisme, et en particulier une albuminurie passagère qui peut tenir soit à l'élimination de l'iodure formé dans l'économie, soit à l'excitation cutanée et au réflexe sur le rein produit par le révulsif.

119. — Sur une épidémie de contracture observée à Gentilly (Seine).

(En commun avec M. Jules Simon.)

(*Société médicale des hôpitaux*, 1876.)

A la suite d'une émotion vive, toute la population enfantine de Gentilly fut prise de contracture par imitation. Les adultes même furent atteints, et on ne put arrêter la maladie qu'en disséminant les enfants dans les hôpitaux de Paris.

120. — Note sur la composition chimique des os dans l'arthropathie des ataxiques.

(*Société de biologie* et *Comptes rendus de l'Institut*, 1879.)

M. Charcot a découvert l'arthropathie des ataxiques. Quelques auteurs ont prétendu qu'il n'y avait là que de l'arthrite sèche et nullement une lésion spéciale et trophique. Or, notre analyse démontre le contraire.

100 grammes d'os ataxiques contiennent :

Matières minérales.	24,20
— organiques	75,80

Les matières organiques sont :

Osséine.	37,70
Graisse.	38,10

Les matières minérales sont :

Phosphate de chaux.	10,9
Carbonate de chaux.	11,8
Phosphate de magnésie	0,7
Chlorures.	0,8

Cette composition est bien différente de celle de l'os normal. Elle ressemble à celle des os dans l'ostéomalacie et constitue une vraie stéatose exactement inverse de ce qui se voit dans l'arthrite sèche.

121. — Sur un cas d'arthropathie chez un ataxique.

(*Société anatomique*, 1877.)

Il s'agit d'un cas nouveau d'arthropathie chez un ataxique. Cette affection était alors assez mal connue, et même son existence était discutée.

122. — Note médico-légale sur la possibilité de faire totalement disparaître un cadavre au moyen de l'acide sulfurique ordinaire.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

Dans une cuvette, j'ai placé le cadavre d'un nouveau-né pesant 3 kilogrammes. Je l'ai arrosé avec 4 litres d'acide sulfurique que j'ai moi-même acheté chez un marchand de couleurs. Trente heures après, sans qu'il se fût dégagé ni chaleur ni odeur, le cadavre était anéanti.

Le meilleur moyen de se débarrasser de l'acide est encore celui qui se présente le mieux à l'esprit des criminels. Il suffit de le jeter dans la fosse de la maison : les conduits sont en poterie et par conséquent inattaquables; l'acide, arrivé dans la fosse, rencontre une grande quantité de carbonate

d'ammoniaque provenant des urines, il se fait du sulfate d'ammoniaque et de l'acide carbonique, et toute trace, non seulement du crime, mais aussi du moyen employé pour le dissimuler a disparu.

J'ai vainement cherché un moyen de déceler ces manœuvres : la présence du sulfate d'ammoniaque est normale dans la fosse et ne prouve rien.

Donc, si j'ai publié ces recherches, qu'il serait assez fâcheux de faire connaître au grand public, c'est pour que les médecins légistes soient avertis de la possibilité, de la facilité même de faire disparaître les avortons ou les cadavres d'enfants tant que l'acide sulfurique se vendra aussi librement qu'aujourd'hui.

C'est aussi pour poser devant les chimistes le problème que je n'ai pu résoudre, à savoir la recherche de l'acide sulfurique après qu'il a été jeté dans la fosse de la maison.

123. — Analyse du liquide dans l'hydronéphrose. Absence d'urée.

(En commun avec M. Raymond.)

(*Comptes rendus de la Société anatomique*, 1878.)

Le liquide d'une hydronéphrose contenait :

Eau	977
Urée	3,85
Albumine	7,60
Chlorures	6,10
Phosphates, sulfates, etc.	5,45
	1000,00

Le rein continuait donc à sécréter, mais l'urée ne passait plus, et la malade mourut d'urémie. Ainsi se trouvait réalisée par une maladie spontanée l'expérience d'Hermann sur l'augmentation de pression dans l'uretère.

124. — Kyste hydatique du foie ayant simulé un pneumo-thorax.

(En collaboration avec M. Budin.)

(*Comptes rendus de la Société anatomique*, 1874.)

Une malade de la Pitié, après avoir subi une ponction d'un grand kyste hydatique du foie, présentait tous les symptômes du pneumo-thorax, souffle amphorique, tintement métallique, etc. A l'autopsie on ne trouva pas trace

de cette lésion, mais la poche kystique, tendue par des adhérences péritonéales, était remplie d'air mélangé de liquide, et les bruits pulmonaires donnaient, en retentissant dans cette cavité, une illusion complète qui avait trompé les cliniciens. Il y a donc lieu de tenir compte d'une pareille possibilité dans le diagnostic des complications du kyste hydatique du foie.

125. — Sur le mécanisme de la mort des ouvriers mineurs dans les explosions de grisou.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1880.)

Ces ouvriers peuvent être tués par des éboulements, ce cas n'a pas besoin d'explications.

D'autres fois on les trouve morts à leur poste de travail. On remarquera qu'avant l'explosion l'ouvrier respire l'atmosphère explosible elle-même, ses poumons en sont remplis. La détonation peut donc s'y propager. Ce qui le laisserait croire, ce sont les brûlures trachéennes et bronchiques que l'on observe sur les animaux soumis à des explosions expérimentales. Il arrive souvent aussi des syncopes persistantes, inhibitions du cœur produites par l'action de la brûlure sur les extrémités des nerfs pulmonaires. Je l'ai constaté graphiquement.

Enfin le résultat de l'explosion donne une grande quantité d'oxyde de carbone, qui devient une cause active de mort.

126. — Premiers soins à donner aux ouvriers blessés dans les explosions de grisou.

(Un volume in-12, Danod, éditeur, 1883).

Ce manuel élémentaire a été rédigé par l'auteur sur l'ordre de la Commission du grisou (loi du 26 mars 1877). Il est destiné aux maîtres mineurs, mécaniciens et chefs d'escouade. Il résume les moyens de sauvetage employés dans les mines et les premiers secours chirurgicaux à donner aux ouvriers après les grandes catastrophes.

127. — De l'influence de la compression de l'uretère sur la sécrétion rénale.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1877.)

Nous apportons deux nouveaux cas à l'appui de ce que nous avions déjà

dit, à savoir que le cancer de l'utérus peut, dans son évolution, fermer à peu près l'uretère et amener les résultats de l'expérience d'Hermann, à savoir la non-sécrétion de l'urée, bien que l'eau continue à être éliminée.

Dans l'un des cas que nous publions, le liquide sécrété par le rein ne contient plus que 3 grammes d'urée, et dans l'autre 7 grammes. Les deux malades sont mortes d'urémie, bien que leurs reins fussent demeurés sains.

128. — Magnétisme et diamagnétisme des substances vivantes.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1875.)

Les substances vivantes sont diamagnétiques à cause de l'eau qu'elles contiennent. Desséchées, elles sont, les unes magnétiques, et les autres diamagnétiques.

Les substances assimilables sont magnétiques, tandis que les produits de désassimilation sont diamagnétiques.

Un simple changement moléculaire change le magnétisme d'une substance. Ainsi, l'albumine coagulée ne se comporte pas comme l'albumine crue. Il en est de même de l'amidon cuit et de beaucoup d'autres substances.

129. — Sur la quantité de graisse accumulée dans les sillons du cœur chez les animaux engraissés rapidement.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1889.)

L'anatomie démontre que les sillons du cœur sont un lieu d'élection pour l'accumulation de la graisse.

Même chez les êtres qui succombent absolument émaciés, il reste dans ces points une certaine quantité de tissu adipeux.

On sait aussi en pathologie que l'accumulation de graisse sur le cœur, sa surcharge, constituent une condition fâcheuse pour son fonctionnement.

Nous nous sommes demandé ce que pouvait être la surcharge graisseuse du cœur chez les animaux engraissés hâtivement qui remportent le prix dans nos concours généraux.

Or nous avons trouvé que cette surcharge était considérable.

Comme point de comparaison, nous avons soigneusement mesuré la

graisse contenue dans le cœur de quelques animaux ordinaires pris au hasard à l'abattoir.

Dans un cœur de bœuf normal du poids de 2 kilogrammes, il y a environ 260 grammes de graisse accumulée dans les sillons du cœur, soit 12,5 p. 100 du poids total.

Nous avons vu cette proportion considérablement dépassée chez les animaux pour lesquels la Commission du ministère de l'Agriculture avait mandé le rendement.

Chez les bœufs engraissés intensivement, la surcharge du cœur peut passer de 12 à 30; chez le porc, de 14 à 22; chez les moutons, de 13 à 19.

130. — Sur la qualité de l'air contenu dans les cocons de vers à soie.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1888.)

Les cocons de vers à soie sont formés des fils mêmes sécrétés par l'insecte, légèrement englués par une substance qui colle ces fils les uns après les autres de façon à constituer une étoffe véritable qui protège la chrysalide contre les intempéries et contre ses ennemis pendant toute la vie de l'animal à l'état de nymphe.

Je me suis demandé si, à travers cet enduit épais, l'échange des gaz se faisait bien pour la respiration.

J'ai donc pris un certain nombre de cocons et, les ayant ouverts sous le mercure, à diverses époques de la vie de la nymphe, j'ai recueilli le gaz qui s'en échappait.

L'analyse m'a donné en moyenne les chiffres suivants, aussi bien au commencement qu'à la fin de la vie à l'état de chrysalide.

Acide carbonique	=	2,1
Oxygène	=	19,1
Azote	=	78,8
		100,0

C'est donc de l'air légèrement confiné qui existe dans le cocon.

Ces résultats sont, d'ailleurs, en rapport avec ce qu'avaient vu Regnault et Reiset, Paul Bert sur la respiration des chrysalides à l'état libre.

Le peu d'activité de cet acte peut fort bien s'accommoder avec la pauvreté en oxygène que nous avons constatée.

131. — Sur l'activité vitale des chrysalides.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1889.)

Dans ce travail nous avons soumis à la balance enregistrante 12 chrysalides de vers à soie. En même temps notre appareil enregistreur de la consommation d'oxygène nous donnait la valeur de leurs combustions respiratoires. Nous avons démontré que l'activité est plus grande à la période finale de la vie de nymphe.

132. — Influence de la chaleur sur les cellules du foie.

(En commun avec M. PAUL BERT.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Quand on ajoute un fragment de foie préalablement bien lavé et absolument débarrassé de sang à de l'eau oxygénée, celle-ci est brusquement décomposée.

Le même foie, porté au-dessus de 70°, est absolument sans action.

133. — Action de la lumière sur les chromoblastes de la Carpe et de la Tanche.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1893.)

Les travaux de Georges Pouchet ont démontré que la vision était le point de départ du réflexe qui amène le mouvement des chromoblastes chez certains poissons plats. Nous avons trouvé ce point de départ chez une foule d'autres animaux et en particulier chez la Carpe et chez la Tanche. Ces poissons mis pendant quelques heures dans l'eau crayeuse ou dans l'eau charbonneuse deviennent clairs ou foncés, et on peut reproduire la coloration alternative autant qu'on le veut sur le même animal.

134. — Action sur le système nerveux des grandes catastrophes et en particulier des explosions de dynamite.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1892.)

En produisant dans un étang de violentes explosions de dynamite, nous avons pu nous rendre compte de l'état dans lequel se trouvaient les ani-

maux aquatiques après le choc. Un très petit nombre était mort, la grande majorité avait seulement subi une sorte d'obnubilation dont ils sortaient assez facilement au moindre attouchement, au point qu'il n'était pas facile de s'emparer d'eux : il semblerait qu'il y avait là un état analogue à celui que les auteurs américains ont décrit chez l'homme après les grandes catastrophes.

135. — Quelques expériences faites sur un supplicié à Troyes (Aube).

(En commun avec M. LOYE.)

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 1885.)

Nous avons étudié l'expression de la physionomie au moment de la décapitation, la contracture générale du corps, les réflexes, la contractilité pulmonaire par galvanisation des pneumogastriques, l'action de ce nerf sur les mouvements de l'intestin et sur les sécrétions de l'estomac. Enfin nous avons vérifié la théorie de Duchenne sur l'action des lombricaux et des interosseux de la main.

136. — Recherches faites à Amiens sur les restes d'un supplicié.

(En commun avec M. PAUL LOYE.)

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences,* 1887.)

Des dispositions spéciales nous ont permis, lors d'une exécution capitale, d'examiner l'état de la tête du condamné (homme de trente-huit ans) deux secondes après la décapitation,

A ce moment, la face a conservé sa coloration rosée. Les traits sont absolument immobiles; les yeux se montrent grandement ouverts, avec les pupilles moyennement dilatées; la bouche est énergiquement fermée.

La tête ne présente pas le moindre mouvement spontané, la moindre contraction fibrillaire.

L'approche d'un doigt au-devant de l'œil reste sans résultat. Mais l'attouchement des globes oculaires ou de l'extrémité des cils provoque chaque fois, pendant les premières secondes, un clignement des paupières aussi marqué que chez un homme vivant. Il ne s'agit là, du reste, que d'un

simple acte réflexe. A la sixième seconde, ce réflexe ne peut plus être décelé.

Les mâchoires sont rapprochées l'une de l'autre; malgré de puissants efforts, il nous est impossible de les écarter. Le pincement de la peau est sans effet.

Le tronc, lui non plus, n'est le siège d'aucun mouvement spontané; il ne présente nulle part de trace de cette contracture que nous constatons dans les muscles des mâchoires.

Une minute après la décollation, la face commence déjà à pâlir; la bouche est toujours énergiquement close. L'approche d'une lumière au-devant de l'œil ne détermine aucun rétrécissement de la pupille; le réflexe irien n'apparaît pas.

Le tronc demeure toujours inerte et flasque; les carotides continuent à rejeter le sang resté dans l'arbre circulatoire. Le réflexe rotulien ne peut être provoqué.

Au bout de quatre minutes, la face est tout à fait exsangue; les paupières supérieures sont à moitié tombantes; la bouche est encore fortement fermée, mais il est cependant possible d'introduire l'extrémité d'un doigt entre les mâchoires.

Les excitations sensorielles (cris aux oreilles, présentation de divers objets devant les yeux, pincement de la langue et de la peau) n'amènent aucun changement dans la physionomie.

L'irritation de la moelle épinière, soit du bout encéphalique, soit de la portion rachidienne, au moyen d'une pince, ne produit de mouvement ni dans la tête, ni dans le tronc.

A l'ouverture de la poitrine, le *cœur* battait encore. Le péricarde étant ouvert, nous constatons, jusqu'à la vingt-cinquième minute après la décollation, des battements rythmiques très prononcés des ventricules et des oreillettes. Les mouvements des oreillettes seules persistent ensuite pendant quarante minutes. Le cœur a donc battu une heure après la décapitation.

L'ouverture du *crâne* nous montre les vaisseaux de la dure-mère assez bien remplis de sang. Au-dessous d'elle, nous constatons la présence d'une assez grande quantité d'air dans l'espace sous-arachnoïdien. Les vaisseaux de la pie-mère, surtout au niveau de la convexité du cerveau, sont remplis

d'un sang mêlé de nombreuses bulles d'air. Ce sang est d'un beau rouge.

Rigidité cadavérique. — La rigidité n'a apparu dans le corps que trois heures après la décapitation, alors que la température rectale était de 33°. Elle s'est montrée dans les membres postérieurs; six heures après la mort, les membres antérieurs avaient conservé une flaccidité absolue et n'étaient pas encore rigides.

137. — Mécanisme de l'entrée de l'air sous l'arachnoïde et dans les vaisseaux cérébraux après la décapitation.

(En commun avec M. Loye.)

(*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1887.)

A l'instant de la décollation, l'élasticité artérielle des vaisseaux cérébraux tend à se satisfaire et les artères se vident en partie; de là l'écoulement de sang qu'il est facile de constater par le bout périphérique des carotides et des vertébrales.

La cavité crânienne étant inextensible et incompressible, il faut, de toute nécessité, que quelque chose vienne remplacer le sang qui s'écoule. Voilà pourquoi l'air se trouve appelé dans l'espace sous-arachnoïdien ouvert par la section même du cou; il y est appelé avec une force exactement égale à l'élasticité artérielle, c'est-à-dire à 15 cent. de mercure environ.

B D R

Il est possible d'ailleurs de se rendre compte de ce fait par une expérience schématique représentée par la figure ci-jointe. Dans un ballon de verre plein d'eau, représentant la cavité crânienne, se trouvent placées deux ampoules de caoutchouc B et D terminées par deux tubes de verre aboutissant à l'extérieur à travers le bouchon du ballon. L'une de ces ampoules, B, est gonflée et remplie d'un liquide qui représente le sang; le tube qui la termine est fermé par un robinet R. L'autre ampoule, D, représente l'espace sous-arachnoïdien; elle est complètement vide, aplatie, et s'ouvre librement au dehors. Si l'on ouvre brusquement le robinet R de la première ampoule

B, son élasticité la vide, le liquide s'écoule au dehors et l'on voit l'air pénétrer, en quantité exactement égale, dans l'autre ampoule D primitivement vide.

Quant à la pénétration de l'air dans les vaisseaux cérébraux, il serait possible de l'expliquer de la manière suivante : immédiatement après la décollation, les petits vaisseaux se contractent et chassent le sang au dehors par les plaies artérielles; quand cette contractilité a cessé, les artères revenant sur elles-mêmes peuvent appeler dans leur intérieur une certaine quantité d'air qui, se mélangeant au sang, produit ces index que tous les observateurs ont signalés.

138. — Production d'hémoglobine cristallisée dans le tube digestif des sangsues.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Nous avons constaté un fait assez curieux : quand des sangsues ont pris sur un chien une certaine quantité de sang, ce liquide se conserve de longs mois dans leur tube digestif sans s'altérer; il y reste même rouge et artérialisé. De plus, l'hémoglobine cristallise et forme de véritables paquets de cristaux.

139. — Sur la variation de la capacité pulmonaire par la galvanisation du bout périphérique du nerf pneumo-gastrique et du bout central du sciatique chez l'animal curarisé.

(En commun avec M. Jolyet.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1876.)

Chez l'animal vivant et curarisé, la galvanisation du bout périphérique du nerf vague amène une pression intrapulmonaire très supérieure à celle qu'on obtient sur le cadavre. Ce résultat doit tenir à l'intervention de phénomènes vasculaires.

140. — Recherches sur la température propre du muscle pendant la contraction physiologique.

(En commun avec M. Brissaud.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Nous avons opéré à la Salpêtrière dans des conditions remarquables de précision. Nous nous servions d'aiguilles d'Arsonval et d'un galvanomètre sensible, à miroir. Un pinceau de lumière électrique de 35 mètres de long allait du miroir à l'échelle graduée : le plus léger mouvement de l'aiguille amenait donc un déplacement considérable de l'index lumineux.

Au début d'une contraction normale il y a un refroidissement instantané du muscle, puis le muscle s'échauffe progressivement, et si la contraction dure, il s'établit un certain équilibre. Dès que la contraction cesse, l'équilibre se trouve de nouveau rompu et la température monte rapidement. Nous pensons qu'il y a là des effets vasculaires. Dans le premier moment de la contraction, le muscle exprime le sang qu'il contenait, d'où refroidissement. Puis il s'échauffe pour faire face au travail. Enfin, dès que la contraction cesse, le sang envahit de nouveau le muscle, d'où l'ascension brusque de la température.

141. — Étude thermométrique sur les muscles contracturés.

(En commun avec M. Brissaud.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Chez les hémiplégiques, les hystériques ou les individus frappés de tabes dorsal spasmodique et qui ont un côté du corps contracturé, on trouve toujours le côté contracturé plus froid que le côté sain, ce qui est contraire à ce qu'on devrait attendre, un muscle contracté étant plus chaud qu'un muscle relâché.

Il faut pourtant se souvenir que chez les individus contracturés le côté malade produit un travail bien plus faible que le côté sain ; c'est donc pendant l'immobilité complète, pendant le sommeil, que la recherche devrait être faite. Cela est malheureusement impraticable chez l'homme.

142. — Influence de l'altitude sur la formation de l'hémoglobine.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1892.)

Jourdanet, Bert, Viault, Müntz ont pensé que plus l'économie se trouve privée d'oxygène du fait de l'altitude, plus, par une sorte de compensation, il se forme d'hémoglobine dans le sang du sujet.

Nous l'avons démontré expérimentalement. Un cobaye est maintenu pendant un mois sous une cloche où on pratique une dépression correspondant à une altitude de 3000 mètres. Le manuel opératoire de cette expérience est décrit dans notre mémoire. Au bout de ce temps, l'animal est mis à mort. Son sang absorbe 21 0/0 d'oxygène, tandis que le sang du témoin n'en absorbe que 14 0/0. Ce résultat explique en partie l'action du climat d'altitude.

143. — Chimie du sang chez le caïman et chez le crocodile.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1881.)

La chimie du sang des vertébrés à sang froid est encore fort peu connue. Aussi avons-nous porté d'une façon toute spéciale notre attention sur ces questions encore obscures. Nous avons examiné à cet égard un caïman à museau de brochet, long de $1^m,33$ et un crocodile long de $2^m,42$.

Nous avions noté déjà que le sang des vertébrés à sang froid contenait une quantité de fibrine notablement supérieure à celle que renferme le sang des animaux à sang chaud. En ce qui concerne les crocodiles, nous avons pu faire la même constatation. Déjà, au sortir du vaisseau, le sang se coagule presque instantanément, ce qui chez ces animaux est une excellente condition pour le vivisecteur; en raison de ce fait, les hémorragies sont, en effet, de très courte durée, et le plus souvent l'emploi des pinces hémostatiques est tout à fait superflu.

La quantité de fibrine contenue dans 1000 grammes de sang s'est trouvée, chez le crocodile, égale à $7^{gr},25$.

La lymphe elle-même renferme de grandes quantités de fibrine. Au cours de nos vivisections, notamment en préparant la veine abdominale, il nous est

arrivé d'ouvrir de gros vaisseaux lymphatiques, qui laissaient s'écouler une certaine quantité de la lymphe qu'ils renfermaient. Presque immédiatement, il était aisé de voir cette lymphe se coaguler et se prendre en gelée, et la *lymphorragie* s'arrêtait aussitôt. S'il eût été possible de se procurer des quantités de lymphe suffisantes pour en faire une analyse, la fibrine y eût été dosée, et nul doute que les chiffres obtenus eussent été fort peu différents de ceux que nous avons donnés plus haut pour le sang.

Nous avons cherché encore à déterminer la capacité respiratoire du sang : pour le caïman, elle est égale à 8,4; pour le crocodile, elle était de 7,4 seulement. Cette différence s'explique fort bien, si l'on considère que le caïman, renfermé depuis une année à la ménagerie du Muséum, était depuis lors abondamment nourri, tandis que le crocodile n'avait pris aucun aliment depuis son départ de Cochinchine. Il est intéressant de remarquer que cette capacité respiratoire est la même que celle qui a été observée déjà chez les poissons par Jolyet et par moi.

Les recherches les plus importantes sur la chimie du sang ont trait à l'analyse des gaz du sang. L'opération qui consiste à dénuder les vaisseaux est assez délicate, aussi croyons-nous devoir donner à cet égard quelques indications topographiques.

Si l'on veut extraire le sang des gros vaisseaux de la base du cœur, l'animal étant solidement fixé sur le dos, on ouvre la cavité thoracique sur la ligne médiane, au niveau de la septième rangée d'écailles en arrière du collier gulaire. On atteint de la sorte un paquet considérable de vaisseaux, noyé au milieu d'un abondant tissu conjonctif qu'il s'agit de disséquer avec le plus grand soin.

La préparation terminée, on place des canules dans l'aorte *gauche*, partie du ventricule *droit*; partie par conséquent du cœur *veineux*, et dans l'aorte *droite*, partie du ventricule *gauche*, partie par conséquent du cœur *artériel*. L'analyse du sang extrait de l'aorte *gauche* a donné les résultats suivants :

$$\left.\begin{array}{l} CO^2 = 41^{cc}6 \\ O = 3\ \ 7 \\ Az = 2\ \ 0 \end{array}\right\} \text{pour } 100^{cc} \text{ de sang.}$$

Quant au sang artériel, extrait de l'aorte droite, voici les chiffres donnés par l'analyse :

$$\left.\begin{array}{l} CO^2 = 25^{cc}0 \\ O = 7\ \ 0 \\ Az = 2\ \ 0 \end{array}\right\} \text{pour } 100^{cc} \text{ de sang.}$$

Nous avons également analysé le sang de la veine abdominale. Ce vaisseau peut être atteint au point où il croise la face inférieure de l'estomac; pour le dénuder en cet endroit on doit faire l'incision sur la ligne médiane de l'abdomen, au niveau des 15e et 16e rangées d'écailles à partir du collier gulaire. La peau coupée, il importe de chercher la veine avec les plus grandes précautions, car ses parois sont fort minces et le moindre coup de scalpel porté avec précipitation pourrait compromettre le résultat de l'expérience.

L'analyse des gaz du sang de la veine abdominale a donné les résultats suivants :

$$\left.\begin{array}{l} CO^2 = 50^{cc},4 \\ O = 1\ \ 1 \\ Az = 1\ \ 8 \end{array}\right\} \text{pour } 100^{cc} \text{ de sang.}$$

Nous avons enfin voulu analyser également le sang de l'aorte abdominale. Ici, l'opération devenait encore plus difficile que précédemment. Il ne s'agissait, en effet, rien moins que d'ouvrir largement le péritoine, d'attirer au dehors la masse intestinale, de disséquer l'estomac pour le déjeter également en dehors, et c'est seulement après toutes ces opérations délicates qu'il était possible d'atteindre le vaisseau, au point où il passe le long du bord droit de la colonne vertébrale, entre celle-ci et la rate.

Le sang de l'aorte abdominale contenait :

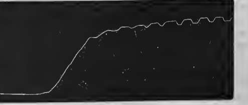
$$\left.\begin{array}{l} CO^2 = 38^{cc},7 \\ O = 3\ \ 9 \\ Az = 1\ \ 8 \end{array}\right\} \text{pour } 100^{cc} \text{ de sang.}$$

144. — Sur les phénomènes de la circulation chez les sauriens.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Chez le varan, la systole est brusque, elle est suivie d'un plateau; la



diastole se fait lentement, elle est suivie d'un court repos.

L'action des pneumogastriques est la même que chez les animaux à sang chaud. La pression artérielle est de 6 centimètres de mercure.

145. — Sur la puissance massétérienne du crocodile.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1881.)

Nous avons pu mesurer au dynamomètre la puissance des masséters du crocodile. Nous avons procédé pour cela de la manière suivante : le crocodile était solidement attaché sur une lourde table. La mâchoire inférieure était solidement fixée, au moyen d'une corde, à la surface même de la table. La mâchoire supérieure était attachée par une autre corde à un piton vissé à une poutre du plafond de la pièce ; sur le trajet de cette corde se trouvait intercalé un dynamomètre. Les choses étant ainsi disposées, on excite vivement l'animal, soit par un choc, soit mieux encore par une secousse électrique. La mâchoire supérieure s'abaisse en tirant lentement sur le dynamomètre. On lit alors l'indication obtenue.

En procédant ainsi sur un crocodile de $2^m,42$ de longueur et du poids de 55 kilogrammes, nous avons obtenu 140 kilogrammes. Le dynamomètre était placé à l'extrémité du museau ; cela est une condition nécessaire, mais défavorable, puisque le point d'application de la force se trouve ainsi à l'extrémité d'un long levier, et qu'il y a au moins cinq fois plus d'espace entre ce point d'application et l'insertion du masséter qu'entre cette insertion et le condyle de la mâchoire, point d'appui du système de levier. Il en résulte donc que les masséters produisent en réalité une force cinq fois plus considérable que celle indiquée par le dynamomètre, soit environ 700 kilogrammes.

On voit donc quelle puissance extraordinaire réside dans ces muscles, et encore nous n'avons mesuré leur contraction que sur un animal affaibli et par une température froide.

Mais ce chiffre, outre qu'il ne tient pas compte des chocs brusques que doit fournir à chaque instant la mâchoire et qui doivent être bien plus puissants, ce chiffre s'applique à toute la superficie de la mâchoire et donne la puissance réelle d'un crocodile qui n'aurait pas de dents. En réalité, cette force s'applique, au début, sur les quatre énormes crocs qui débordent

toutes les autres dents de la mâchoire. C'est donc un poids de 140 kilogrammes qui se trouve tout entier appliqué sur une surface bien difficile à mesurer exactement, mais qui certainement ne dépasse guère un quart de centimètre carré pour les quatre crocs réunis. Il est intéressant, dès lors, de voir à combien d'atmosphères correspond cette pression : le calcul est des plus simples, et l'on voit que, tant que la morsure se fait par l'extrémité des dents, la pression est d'à peu près 400 atmosphères.

Nous avons voulu comparer cette puissance avec celle d'un animal à sang chaud, d'un chien ordinaire. En opérant de la même manière sur un chien de chasse d'assez grande taille et du poids de 20 kilogrammes, nous avons obtenu une pression de 33 kilogrammes. Chez cet animal, la distance entre les canines, en arrière desquelles était appliqué le dynamomètre, et l'insertion massétérienne, est cinq fois plus grande que la distance entre cette insertion et le condyle. L'effet produit au point même de l'insertion massétérienne est donc égal à 165 kilogrammes.

146. — Sur les gaz du sang et sur les nerfs chromatophores chez les sauriens.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Chez les reptiles le sang est trois fois moins coloré que chez les mammifères (méthode colorimétrique). La capacité respiratoire du sang est d'environ 5,5. Le nombre des globules est à peu près de 1 500 000. La quantité totale est très supérieure à ce qu'elle est chez les mammifères, toutes proportions gardées.

Les recherches faites sur les nerfs chromatophores sont en concordance parfaite avec celles de Bert et Georges Pouchet.

147. — Rôle du foramen de Panizza chez les crocodiliens.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1881.)

Tandis que, chez la plupart des reptiles, les deux ventricules communiquent largement entre eux, de telle sorte qu'il se fait un mélange du sang veineux et du sang artériel, mélange lancé ensuite dans les deux aortes,

chez les crocodiliens il existe une disposition toute particulière. Les cavités du cœur sont identiques à celles du cœur de l'homme et des mammifères; il y a deux ventricules et deux oreillettes absolument distincts. Mais entre l'aorte gauche et l'aorte droite se trouve un canal très court, auquel on a donné le nom de *foramen de Panizza*.

Entre l'aorte gauche et ce foramen se trouve un clapet disposé de telle sorte que le sang veineux ne peut pas venir se mélanger au sang artériel; mais aucune disposition anatomique n'empêche le passage du sang artériel dans l'aorte veineuse. Aussi les anatomistes n'ont-ils pas manqué d'affirmer *a priori* le mélange des deux sangs, de telle sorte que le foramen de Panizza mettrait les crocodiliens à peu près dans les mêmes conditions physiologiques que les autres reptiles.

Mais les déductions physiologiques *a priori* ont donné si souvent naissance à des erreurs et l'expérience est venue si souvent les controuver, qu'il n'était pas sans intérêt de contrôler l'opinion ancienne.

Il est certain que, si le foramen de Panizza ne venait pas déverser du sang artériel dans l'aorte veineuse, le sang de celle-ci serait absolument identique, comme composition, à celui de la veine abdominale. Le tableau ci-dessous, tiré des analyses précédentes, démontre amplement que le rôle du foramen de Panizza est bien celui que l'on avait supposé :

1° Aorte partie du cœur artériel :

$$CO^2 = 25^{cc},0$$
$$O = 7,0$$

2° Aorte partie du cœur veineux :

$$CO^2 = 41^{cc},6$$
$$O = 3,7$$

3° Veine abdominale :

$$CO^2 = 50^{cc},4$$
$$O = 1,1$$

C'est donc la preuve qu'il y a bien au-dessus des ventricules et entre les deux aortes le mélange que les anatomistes avaient supposé sans le démontrer

148. — Recherches expérimentales sur les phénomènes respiratoires des animaux de la classe des sauriens.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Nous avons opéré sur l'*Uromastix acanthinurus* et sur le *Lacerta viridis*.

Chez le premier, l'inspiration se fait en deux temps. Il y en a 12 par minute. La ventilation pulmonaire est de 1300 centimètres cubes à l'heure.

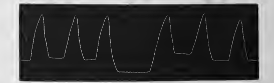
Chez le second, il y a inspiration brusque, puis pause, puis petite expiration, pause, et enfin expiration totale. La circulation aérienne est de 126 centimètres cubes.

149. — Phénomènes mécaniques de la respiration chez le *Tropidonotus natrix*, le *Seps chalcides*, l'*Anguis fragilis*.

(En commun avec M. Blanchard.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1880.)

Chez le *Tropidonotus natrix*, l'inspiration se fait d'un coup, puis il y a une pause au milieu de laquelle a lieu un léger mouvement d'expiration.



Les inspirations sont au nombre de 6 à 7 à la minute. La ventilation pulmonaire est de 810 centimètres cubes.

Chez le *Seps chalcides*, l'inspiration se fait par secousses, puis il y a une pause avant l'expiration. Il y a 4 inspirations à la minute.

Chez l'*Anguis fragilis*, l'inspiration et l'expiration se font simplement et sont séparées par une pause.

150. — Note sur un procédé de dosage de la chlorophylle.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

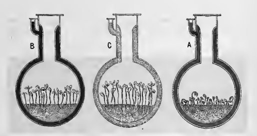
On ne peut facilement doser la chlorophylle par la pesée. Notre procédé consiste à l'apprécier par le colorimètre en la comparant soit à un verre vert, soit à une solution type. On a ainsi un rapport qui est suffisant dans la plupart des cas.

151. — De l'influence des radiations rouges sur la végétation.

(*Annales de l'Institut agronomique*, 1878-1879.)

Paul Bert a démontré que si on arrête la portion du spectre située dans le rouge aux environs de AB, la végétation est entravée, parce qu'il ne peut plus se former de chlorophylle.

Pour que la démonstration fût absolument complète, il était nécessaire de faire une expérience cruciale. Si les plantes privées de la petite bande



rouge mouraient rapidement, il était important de vérifier si elles pouvaient vivre en n'ayant que cette portion du spectre à leur disposition.

C'est de cette partie de la démonstration que nous nous sommes chargé.

Il nous a d'abord fallu chercher une substance qui arrêtât tous ces rayons lumineux sauf le rouge, sauf la partie même du rouge dont nous avions besoin.

Cette substance est une solution convenable d'iode dans le sulfure de carbone.

Nous avons donc placé dans un double ballon une solution de cette substance assez concentrée pour que la bande rouge seule pût passer, et dans ce ballon nous avons mis des graines de cresson alénois.

Dans ces conditions, le végétal se développe, s'allonge, verdit et pousse presque aussi bien qu'un végétal semblable placé dans un double ballon et recevant la lumière à travers l'eau pure.

Si on se reporte à la figure, on comprendra parfaitement notre expérience.

Dans un ballon C pousse du cresson alénois qui reçoit la lumière blanche complète.

Dans un autre A végètent des graines identiques plantées le même jour. Elles reçoivent la lumière presque complète, sauf la bandelette absorbée par la chlorophylle : elles poussent étiolées et meurent rapidement.

Dans un troisième B se trouvent encore les mêmes graines. Elles poussent dans une obscurité presque absolue et ne reçoivent que les radiations rouges qui, selon Bert, leur sont indispensables ; elles sont presque aussi prospères que si elles étaient dans la lumière blanche.

La démonstration est donc complète : si la plante reçoit les rayons que la chlorophylle absorbe et utilise sans doute, elle croît et prospère ; si on l'en prive, elle meurt, fût-elle d'ailleurs en pleine lumière.

Ainsi se trouve expliquée cette singulière action nocive, non pas de la lumière verte, mais de la lumière qui a traversé des substances vertes arrêtant les rayons rouges. Ainsi se trouve encore particulièrement expliquée l'absence de végétation sous les couverts où pénètrent pourtant l'air, la lumière, la chaleur et l'humidité.

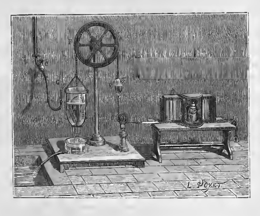
152. — Influence des rayons phosphorescents et fluorescents sur la formation de la chlorophylle.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1883.)

Comme complément à nos expériences sur l'action des radiations rouges sur l'évolution de la chlorophylle, nous avons essayé de fournir à une plante placée dans l'obscurité des radiations peu intenses, mais très actives.

Cette expérience avait été plusieurs fois tentée par Bert. Nous avons, nous, réussi à la faire d'une manière indirecte en recherchant l'action des substances phosphorescentes et fluorescentes sur la germination.

Dans une première expérience, nous examinons l'action des rayons rouges très peu intenses fournis par un tube de Geissler. Ce tube est rempli avec de l'hydrogène chimiquement pur : il est placé dans une boîte obscure



en face de graines en germination. Actionné par une petite bobine d'induction, il émet une lumière très peu intense, mais extrêmement riche en rayons rouges de la région A B.

Dans ces conditions, on voit en quelques heures la chlorophylle se former, les plantes placées du côté du tube poussent vertes, tandis que celles qui sont masquées par elles restent absolument blanches.

Ainsi cette fluorescence si faible d'un tube de Geissler à hydrogène suffit pour développer la chlorophylle au moins aussi bien que la lumière diffuse du jour.

Pour examiner l'influence des rayons bleus placés vers la raie G, il nous a fallu un appareil un peu plus compliqué.

Nous avons choisi comme lumière faible la lueur bleue qu'émet le sul-

fure de calcium convenablement préparé, mais cette lueur n'est pas constante, elle ne dure que quelques minutes après l'exposition de la substance à la lumière. Afin que nos plantes fussent sans cesse sous l'action de cette lumière, nous avons adopté le dispositif suivant :

Dans un cadre A sont placés des tubes plats fermés à la lampe et contenant le sulfure de calcium. Ce cadre glisse dans une rainure, et au devant de lui se trouve une boîte fixe B, dont il forme une des parois. Par une déchirure de cette boîte, on aperçoit la plante en expérience. En glissant dans sa rainure, le sulfure de calcium va s'illumiuer au jour, puis il revient au devant de la boîte qu'il éclaire, va de nouveau s'illuminer, puis revient, et ainsi de suite si on entretient son mouvement alternatif. Comme il glisse très exactement contre la boîte, celle-ci ne reçoit pas d'autre lumière que la lumière phosphorescente du sulfure.

Nous réalisons le mouvement au moyen d'un appareil qui nous sert pour beaucoup d'autres recherches et qui a été déjà utilisé par M. Vesque dans des expériences de physiologie botanique.

Un vase de Tantale H est suspendu à une corde qui passe sur une poulie F; il est équilibré par un vase E rempli de mercure. Quand, au moyen du tube G, le vase de Tantale se remplit, il augmente de poids et il s'abaisse en élevant le contrepoids E. Dès que le siphon du vase H s'amorce, ce vase se vide instantanément, il devient plus léger, le contrepoids l'emporte et redescend : le siphon de H se désamorce, le vase se remplit de nouveau et redevient plus lourd, puis il se vide et ainsi de suite.

On comprend facilement comment, grâce à la poulie de réflexion D, on peut faire que ce mouvement alternatif entraîne le va-et-vient du cadre A.

On a là un moteur très bon marché qui fonctionne indéfiniment, sans pouvoir se dérégler.

Grâce à cette instrumentation si simple, nous avons vu que les plantes en germination qui sont mises à la lumière à peine visible, mais très riche en rayons bleus, se remplissent de chlorophylle, tandis que celles pour qui cette lumière est masquée restent absolument étiolées.

En résumé :

1° Quand on retire de la lumière du jour les rayons rouges, la chlorophylle ne se forme pas et les plantes meurent (Bert);

2° Si, par l'iode et le sulfure de carbone, on ne laisse arriver aux

plantes que les rayons rouges, elles prospèrent et deviennent vertes (Regnard);

3° Si on place les végétaux en germination dans un spectre électrique, on voit que c'est dans le rouge d'abord, puis dans le bleu, au niveau de la quinte des vibrations du rouge, que les plantes se développent le mieux (Bert et Regnard);

4° Enfin, si on met les végétaux en germination dans l'obscurité, mais en présence d'une lumière très faible et riche en rayons rouges et bleus (A B et G), on obtient la formation de la chlorophylle dans ces végétaux.

153. — La longueur des ondes lumineuses et les actions chimiques.

(En commun avec PAUL BERT.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1881.)
(*Académie des sciences*, même année.)

Les rayons rouges entre A et B du spectre ont le maximum d'action sur le verdissement des plantes. Nous nous sommes demandé si les vibrations qui sont en rapport simple comme nombre ne seraient pas celles qui auraient une action prépondérante après les rouges. L'expérience nous a donné raison, et nous avons vu que les rayons indigo, où se trouve la quinte des rouges, étaient les plus actifs après ceux-ci.

154. — La chlorophylle a-t-elle besoin d'être renfermée dans la cellule végétale pour décomposer l'acide carbonique?

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Nous broyons des feuilles de Laitue très tendres avec de la poudre de verre, puis nous filtrons. Il passe un liquide rempli de grains chlorophylliens, mais ne contenant pas une cellule intacte. Nous divisons ce liquide en deux parts. L'une est mise au soleil, mêlée avec du liquide oxymétrique décoloré. En deux heures, elle l'a recoloré. L'autre est laissée avec le même réactif dans l'obscurité. Dix jours après, le réactif est encore incolore. Les corps chlorophylliens ont donc dégagé de l'oxygène au dehors de la cellule.

Nous avons été plus loin : nous avons complètement isolé la chloro-

phylle; nous l'avons dissoute dans l'alcool, puis nous avous trempe dans la solution des feuilles de papier buvard. Nous avons ainsi constitué des feuilles vertes, mais privées du protoplasma blanc. Mises dans la solution oxymétrique, elles l'ont bleuic, mais très lentement. La chlophylle pure agit donc très peu chimiquement.

155. — Sur la décomposition de l'acide carboniqus par la chlorophylle à travers une couche d'eau et sur la fonction chlorophyllienne au fond de la mer.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

Nous avons immergé dans la Méditerranée des ballons suspendus de 2 en 2 mètres à un grand câble fixé par une ancre et frappé sur une bouéo. Ces ballons contenaient chacun 10 grammes d'Ulve verte pris sur le même pied et de l'eau contenant CO^2 mais absolument privée d'O par le réactif de Schutzenberger. L'appareil est coulé de nuit et relevé après quelques heures de jour. Le bleu Coupier du réactif est beaucoup plus intense dans les ballons supérieurs que dans ceux du fond. Nous ne pouvons donner ici les détails des précautions qu'il convient de prendre pour que cette expérience ait une certaine valeur et qu'elle démontre que la quantité de CO^2 décomposé est proportionnelle à la quantité de lumière qui arrive à la chlorophylle.

156. — Action de l'intensité de la lumiére sur la formation de la chlorophylle.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1895.)

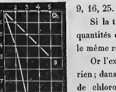
On admet généralement que la chlorophylle qui se développe dans les cellules d'une plante le fait en raison directe de la quantité de lumière qu'elle reçoit. Cela est vrai quand il s'agit de très grandes différences de radiations.

Il est certain qu'un végétal verdira plus vite en plein soleil qu'au fond d'une grotte à peine éclairée, mais, quand il s'agit d'intensités lumineuses relativement peu différentes, il est impossible de voir des différences corrélatives dans la formation de la matière verte.

Voici une expérience qui le prouve. Dans la chambre obscure, nous avons placé un régulateur électrique donnant une lumière d'une très grande inten-

sité; à un mètre de ce régulateur se trouve un pot contenant des pousses d'Orge étiolées, à deux mètres s'en trouve un autre et de même à trois, à quatre et à cinq mètres. Les distances au point lumineux sont donc comme 1, 2, 3, 4, 5.

En vertu des lois de la propagation de la lumière non parallèle, les intensités lumineuses sont en raison inverse de 1, 4, 9, 16, 25.



Si la théorie généralement admise était vraie, les quantités de chlorophylle formée devraient être dans le même rapport

Or l'expérience démontre qu'il n'en est absolument rien; dans les limites où elle est faite, les quantités de chlorophylle formées sont égales sur tous les échantillons.

C'est qu'en effet; la lumière n'agit pas par sa quantité, dans ce phénomène, mais par le nombre de ses vibrations. Si je puis me servir d'une comparaison je dirai que la lumière agit dans la formation de la chlorophylle comme l'étincelle qui enflamme une poudrière, étincelle qui n'est pas proportionnée au résultat qu'elle produit puisqu'elle fait partir aussi bien une fusée d'un gramme qu'une soute de mille quintaux.

La courbe ci-contre donne les différents résultats de notre expérience.

D est la ligne des distances. L exprime l'intensité lumineuse et C*h* la quantité de chlorophylle formée et dosée par le procédé colorimétrique que nous avons indiqué ailleurs. On voit, au premier coup d'œil, qu'il n'y a aucune corrélation entre les deux dernières courbes.

A 1 mètre et à 5 mètres, il y a exactement la même quantité de chlorophylle produite.

Cela nous amène à supposer que dans les eaux tant que la vibration rouge pénétrera, il se fera de la chlorophylle et les Algues verdiront également sans que les plus profondes soient notablement moins colorées que les superficielles.

Examinons en effet des Ulves retirées d'un fond d'une dizaine de mètres et les mêmes prises à 10 centimètres sous-la surface de l'eau; nous les trouvons parfaitement identiques quant à la masse de chlorophylle qu'elles contiennent.

Voici encore une expérience qui démontrera la réalité de notre dire.

Nous avons pris trois grands tubes de laiton dont l'un avait 1 mètre, le second 2 mètres, et le troisième 3 mètres de longueur.

Nous les avons terminés à leurs deux ouvertures par des lames de glace

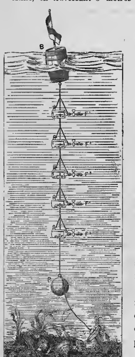


à faces parallèles et nous les avons disposés dans un jardin en face d'un grand miroir incliné à 45° qui projetait dans leur intérieur les rayons lumineux venus des nuées.

Le miroir était orienté exactement au nord de telle sorte qu'il ne reçût jamais les radiations directes du seleil.

A l'autre extrémité des tubes se trouvaient enchâssées des boîtes dans lesquelles nous avions placé de l'Orge germée dans l'obscurité et complètement étiolée. Au bout de huit jours, les boîtes furent ouvertes, l'Orge avait également verdi dans toutes. A l'examen colorimétrique, on trouva la quantité de chlorophylle égale partout.

Ainsi, en traversant 3 mètres d'eau, la lumière avait encore conservé suffisamment de radiations rouges pour provoquer la formation chlorophyllienne.



Nous avons répété encore cette expérience plus en grand; d'abord dans la rade du Havre, ensuite au large du rocher de Monaco.

Un câble est attaché au-dessous d'une bouée B, ce câble est tenu vertical dans l'eau par un poids P et facilement attaché au fond par une ancre. Le long de ce câble et à des distances de la surface de l'eau qui sont : 2, 4, 6, 8 et 10 mètres, se trouvent attachés des flacons remplis d'air dans lesquels germent sur du sable mouillé des graines de Cresson alénois ou de Radis hâtifs.

Le tout est coulé la nuit en mer, sans avoir vu la lumière et relevé une semaine après, également pendant la nuit.

Le dosage colorimétrique de la chlorophylle est effectué et on trouve que dans le flacon à 10 mètres il y en a exactement autant que dans le flacon le plus superficiel.

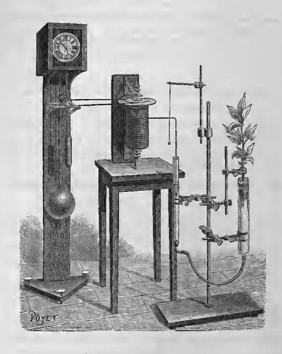
Pour arriver à n'avoir que peu de chlorophylle formée, il nous a fallu couler un ballon par 30 mètres de profondeur; ce doit être la région vers laquelle des algues vertes disparaissent.

157. — Appareil pour l'étude de l'absorption de l'eau par les racines.
(En commun avec M. Loye.)

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Notre appareil peut se ramener à un système de deux vases communi-

cants. Dans l'un plonge la plante en expérience. Dans l'autre se meut un flotteur portant une aiguille qui vient écrire sur un appareil enregistreur mis lui-même en mouvement par l'une de nos horloges. L'absorption du



liquide dans l'un des vases amène un abaissement du liquide dans l'autre. Le flotteur descend, et c'est ce mouvement de descente qui est enregistré. Pour éviter l'évaporation, on étale une couche d'huile sur le liquide du vase qui contient la plante.

158. — Note sur l'action de certaines substances organiques sur l'amidon.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1884.)

Quand on fait vivre un poisson dans l'eau amidonnée, on voit l'amidon se transformer rapidement en sucre. On pourrait croire que c'est une substance salivaire qui produit cet effet. En réalité, c'est le mucus qui enduit le poisson, car, placé seul dans l'eau amidonnée, il la saccharifie. Presque toutes les substances organiques agissent de même. Cela doit être dû aux microbes qu'elles renferment.

159. — Note sur la tension élastique de certains tissus végétaux.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1885.)

Quand on touche au fruit de l'*Ecballium agreste*, il se vide brusquement en projetant ses graines à une distance qui peut aller à 9 mètres. En mesurant manométriquement la force qui préside à cet acte, on trouve qu'elle varie entre une demie et une atmosphère.

160. — Note à propos de la pression exercée par les graines qui se gonflent.

(*Comptes rendus de la Société de biologie*, 1889.)

J'ai procédé de la manière suivante : dans un ballon absolument plein d'eau, préalablement purgée de gaz par le vide de la pompe, je mets des graines de haricot, de lentille, etc. Je ferme l'appareil par un bouchon de caoutchouc traversé par un tube coudé également plein d'eau et plongeant dans le mercure.

Il ne peut se passer que trois choses : ou bien les graines s'imbibant, il y aura augmentation du *volume total* et dès lors pression; l'eau sortira alors par le tube et s'échappera par-dessus le mercure; ou bien il n'y aura aucun changement de volume, et alors le mercure ne bougera pas; ou bien le mélange de l'eau avec la substance des graines amènera une diminution de volume, une contraction, une diminution de pression dans l'appareil, et alors le mercure montera dans le tube.

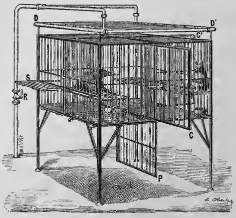
C'est précisément ce qui a lieu; l'imbibition des graines amène une contraction du volume total. Dès la première heure de contact, le mercure a monté de plusieurs centimètres dans le tube.

D'ailleurs, si, au lieu de mettre des graines vivantes, on procède avec leurs éléments constituants, avec l'amidon, la gomme, ou encore avec l'albumine, la fibrine, la caséine, on obtient des résultats absolument identiques. En prenant beaucoup de substance et peu d'eau, il est même facile de constater au thermomètre l'augmentation de chaleur qui accompagne toute contraction.

161. — Niches aseptiques.

(*Comptes rendus de la Société de biologie,* 1894.)

Il s'agit dans cette note très courte des dispositions prises par l'auteur, de concert avec les architectes de la Nouvelle Sorbonne et du nouvel Institut agronomique, pour établir des niches dans lesquelles les animaux en



expérience pussent être tenus dans le même état aseptique que le sont les malades humains après les grandes opérations chirurgicales.

Le résultat est obtenu par une construction en fer qu'il est toujours possible de laver à grande eau par un système de pluie situé au-dessus : il est d'autre part possible de flamber au gaz ces cages qui sont entièrement métalliques.

162. — Les maladies épidémiques de l'esprit.

Un volume grand in-8° avec 120 gravures. Paris, 1887. Plon et Nourrit, éditeurs.

163. — Sommeil et somnambulisme.

Conférence faite à la Sorbonne le 5 mars 1881.

164. — Les sorcières.

Conférence faite à la Sorbonne le 12 mars 1882.

165. — Deux poisons à la mode.

Conférence faite à la Sorbonne le 21 mars 1885.

166. — Le délire des grandeurs.

Conférence faite à la Sorbonne le 10 avril 1886.

167. — La constitution de la lumière.

Leçon faite à Épernay pour l'inauguration des conférences du soir, le 12 juin 1884.

168. — L'enseignement par l'aspect.

Conférence populaire faite par ordre du Ministère de l'Instruction publique le 24 février 1884, à Rebais (Seine-et-Marne).

169. — La lanterne magique à l'école.

Conférence populaire faite par ordre du Ministère de l'Instruction publique à Melun, le 14 février 1884.

170. — Histoire d'un rayon de soleil.

Conférence faite à Compiègne le 6 mars 1884, pour l'inauguration des leçons du soir créées par le Ministère de l'Instruction publique.

171. — Le Mont-Blanc.

Conférence faite à Laon pour l'inauguration des conférences du soir créées par le Ministère de l'Instruction publique, le 5 mars 1883.

172. — Les grandes profondeurs.

Conférence faite à Boulogne-sur-Mer le 24 juillet 1891.

173. — La vie dans les eaux.

Conférence faite à Marseille au Congrès de l'Association française, 1891.

174. — Planches murales de physiologie.

(En commun avec M. Johnston.)

(Librairie Delagrave, 1885.)

Ces planches, exécutées par le procédé dit du papier peint, sont destinées à illustrer les cours de physiologie générale prescrits par les derniers programmes de l'Enseignement secondaire. Le manuel qui les accompagne a été traduit en Espagne et en Russie. Elles ont remporté un grand prix à l'Exposition internationale de Melbourne.